

EXPRESS MAIL NO. EV 327 133 715 US

DATE OF DEPOSIT 9/10/03

Our File No. 9281-4636

Client No. N US01146

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of:)
Hisayuki Yazawa et al.)
Serial No. To be Assigned)
Filing Date: Herewith)
For Soft Magnetic Film and Thin Film)
Magnetic Head Using the Same)

SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIORITY DOCUMENT

Mail Stop Patent Application
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Dear Sir:

Transmitted herewith is a certified copy of priority document Japanese Patent Application No. 2002-267733, filed September 13, 2002 for the above-named U.S. application.

Respectfully submitted,



Gustavo Siller, Jr.
Registration No. 32,305
Attorney for Applicants

BRINKS HOFER GILSON & LIONE
P.O. BOX 10395
CHICAGO, ILLINOIS 60610
(312) 321-4200

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 9月13日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-267733

[ST.10/C]:

[JP2002-267733]

出 願 人

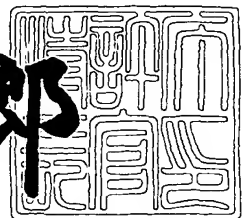
Applicant(s):

アルプス電気株式会社

2003年 3月24日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3019670

【書類名】 特許願

【整理番号】 011265AL

【提出日】 平成14年 9月13日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G11B 5/127

【発明の名称】 軟磁性膜及びこの軟磁性膜を用いた薄膜磁気ヘッド

【請求項の数】 14

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社
社内

【氏名】 矢澤 久幸

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社
社内

【氏名】 金田 吉弘

【特許出願人】

【識別番号】 000010098

【氏名又は名称】 アルプス電気株式会社

【代表者】 片岡 政隆

【代理人】

【識別番号】 100085453

【弁理士】

【氏名又は名称】 野▲崎▼ 照夫

【選任した代理人】

【識別番号】 100121049

【弁理士】

【氏名又は名称】 三輪 正義

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 041070

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 軟磁性膜及びこの軟磁性膜を用いた薄膜磁気ヘッド

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 組成式が FeNiRe で示され、メッキ法によって形成される合金からなることを特徴とする軟磁性膜。

【請求項 2】 組成式が $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ (ただし、 x 、 y は質量%比で $0.54 \leq x \leq 0.74$ 、 $x + y = 1$ 、 a 、 b は質量%で、 $0 \text{ 質量}\% < b \leq 10.1 \text{ 質量}\%$ 、 $a + b = 100 \text{ 質量}\%$ の関係を満足するものである。) で示される請求項 1 記載の軟磁性膜。

【請求項 3】 前記軟磁性膜の比抵抗が $50 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ より大きく $98 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 以下である請求項 1 または 2 記載の軟磁性膜。

【請求項 4】 飽和磁束密度 B_s が 1.14 (T) 以上で 1.55 (T) より小さい請求項 3 記載の軟磁性膜。

【請求項 5】 保磁力 H_c が 120 (A/m) 以下である請求項 3 または 4 に記載の軟磁性膜。

【請求項 6】 飽和磁束密度 B_s が 1.75 (T) 以上で 1.89 (T) より小さい請求項 1 または 2 記載の軟磁性膜。

【請求項 7】 前記軟磁性膜の比抵抗が $34 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ より大きく $76 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 以下である請求項 6 記載の軟磁性膜。

【請求項 8】 磁性材料製の下部コア層と、前記下部コア層上に磁気ギャップを介して形成された上部コア層と、両コア層に記録磁界を与えるコイル層とを有する薄膜磁気ヘッドにおいて、

少なくとも一方のコア層は、請求項 1 ないし 7 のいずれかに記載された軟磁性膜により形成されていることを特徴とする薄膜磁気ヘッド。

【請求項 9】 前記下部コア層上には記録媒体との対向面で下部磁極層が隆起形成されている請求項 8 記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項 10】 前記下部磁極層が前記 FeNiRe 合金からなる軟磁性膜により形成されている請求項 9 記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項 11】 下部コア層及び上部コア層と、前記下部コア層と上部コア

層との間に位置し且つトラック幅方向の幅寸法が前記下部コア層及び上部コア層よりも短く規制された磁極部とを有し、

前記磁極部は、下部コア層と連続する下部磁極層、上部コア層と連続する上部磁極層、および前記下部磁極層と前記上部磁極層間に位置するギャップ層とで構成され、あるいは前記磁極部は、上部コア層と連続する上部磁極層、および前記上部磁極層と下部コア層との間に位置するギャップ層とで構成されている請求項 8 記載の薄膜磁気ヘッド。

【請求項 1 2】 前記コア層は、少なくとも磁気ギャップに隣接する部分が 2 層以上の磁性層から成り、あるいは前記磁極層が 2 層以上の磁性層から成り、前記磁性層のうち前記磁気ギャップから離れている側の磁性層が、前記軟磁性膜により形成されている請求項 8 ないし 1 1 のいずれかに記載の薄膜磁気ヘッド

【請求項 1 3】 下部コア層及び上部コア層と、前記下部コア層と上部コア層との間に位置し且つトラック幅方向の幅寸法が前記下部コア層及び上部コア層よりも短く規制された磁極部とを有し、

前記磁極部は、下部コア層と連続する下部磁極層、上部コア層と連続する上部磁極層、および前記下部磁極層と前記上部磁極層間に位置するギャップ層とで構成され、あるいは前記磁極部は、上部コア層と連続する上部磁極層、および前記上部磁極層と下部コア層との間に位置するギャップ層とで構成され、

前記上部磁極層及び／または下部磁極層は、請求項 1 ないし 7 のいずれかに記載された軟磁性膜により形成されていることを特徴とする薄膜磁気ヘッド。

【請求項 1 4】 前記コア層は、少なくとも磁気ギャップに隣接する部分が 2 層以上の磁性層から成り、あるいは前記磁極層が 2 層以上の磁性層から成り、前記磁性層のうち前記磁気ギャップから離れた側の磁性層が、前記軟磁性膜により形成されている請求項 1 3 に記載の薄膜磁気ヘッド。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、例えば薄膜磁気ヘッドのコア材または磁極材として使用される、高比抵抗かつ高飽和磁束密度である FeNiRe 合金からなる軟磁性膜及びこの軟

磁性膜を用いた薄膜磁気ヘッドに関する。

【0002】

【従来の技術】

薄膜磁気ヘッドや薄膜インダクタ等の平面型磁気素子で磁性材料を使用する部分には、NiFe合金（パーマロイ）がよく用いられる。

【0003】

前記NiFe合金は、比較的優れた軟磁気特性を有し、しかもメッキ形成の容易さなどから、頻繁に使用される磁性材料の一つとなっている。

【0004】

しかしながら、近年平面型磁気素子の高周波電流対応が進み、高周波電流領域におけるうず電流損失が問題になってきた。

【0005】

うず電流損失を低減するためには、比抵抗の大きい軟磁性膜を用いることが有効である。

【0006】

例えば、特開平8-212512号（特許文献1）には、NiFe2元系合金にMoを添加することにより、比抵抗が $40\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 以上である軟磁性膜を形成し、高周波記録時のうず電流損失を低減することを目指した薄膜磁気ヘッドが記載されている。

【0007】

【特許文献1】

特開平8-212512号公報（第11-12頁、第16-18図）

【特許文献2】

特開平9-63016号公報（第5-6頁、第5図）

【特許文献3】

特開2000-235911号公報（第3-4頁、第1図）

【特許文献4】

特開2000-58364号公報

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、特開平 8-212512 号に記載の FeNiMo 合金膜は、前記 Fe の Ni に対する組成比が 60% を越えると、飽和磁束密度 B_s が急激に減少するものであった。その結果、特開平 8-212512 号に記載の FeNiMo 合金膜の飽和磁束密度 B_s は 1.6 T (テスラ) 以下となっていた。理論的には、FeNiMo 合金膜の Fe 含有量が増大すれば、飽和磁束密度も大きくなるのだが、特開平 8-212512 号では、前記 Fe の Ni に対する組成比が 60% を越える安定な FeNiMo 合金膜を形成できていないものと考えられる。なお、この FeNiMo 合金は、直流電流を用いた電気メッキ法によりメッキ形成されたものである。

【0009】

また、特許文献 2 ないし 4 にも、FeNiMo 合金膜が記載されているが、いずれも、前記 Fe の Ni に対する組成比が 60% を越える安定な FeNiMo 合金膜ではない。

【0010】

しかしながら、今後の高記録密度化に伴い、記録密度を向上させるには、飽和磁束密度 B_s をさらに高くすることが要望されていた。

【0011】

また、NiFe に Mo を含有させた FeNiMo 合金は NiFe に比べて耐蝕性が劣るという欠点を有していた。

【0012】

そこで本発明は上記従来課題を解決するためのものであり、高い飽和磁束密度 B_s の値を安定して示すことができ、同時に高比抵抗を示し、さらに耐蝕性に優れた FeNiRe 合金からなる軟磁性膜、及びこの軟磁性膜を用いた薄膜磁気ヘッド並びに軟磁性膜の製造方法を提供することを目的としている。

【0013】

【課題を解決するための手段】

本発明の軟磁性膜は、組成式が FeNiRe で示され、メッキ法によって形成される合金からなることを特徴とするものである。

【0014】

本発明では、飽和磁束密度が高く、同時に高比抵抗である軟磁性膜を得るために、従来のようにNiFeにMoなどの元素を添加する代わりに、NiFeにReを添加したFeNiRe合金からなる軟磁性膜を用いている。

【0015】

本発明の軟磁性膜では、Reが含有されることにより比抵抗が増大している。

また、Feを含有する軟磁性膜の飽和磁束密度Bsは、主としてFeの含有量に左右され、Feの組成比が多いほど前記Bsは大きくなる。その理由は、Slater-Pauling曲線に示される原子磁気モーメントの關係に由来している。しかしながらFeの組成比がある一定以上多くなるとメッキ膜の成長過程が阻害され、緻密な結晶を形成できず、前記Bsは低下するものと考えられる。

【0016】

本発明では、前記軟磁性膜はメッキ形成されたものである。メッキ形成により前記軟磁性膜の厚みを比較的自由に變更でき、フレイムメッキ法を用いることで任意形状の前記軟磁性膜を厚みのある膜として形成することができる。また、メッキ形成によって形成された前記軟磁性膜は、スパッタ法などの真空成膜法によって形成された軟磁性膜よりも一定の膜厚になりやすい。軟磁性膜の膜厚が厚くなる程、メッキ形成によって形成された前記軟磁性膜と、スパッタ法などの真空成膜法によって形成された軟磁性膜との、膜厚の安定化度の差は大きくなる。

【0017】

特に、本発明では、パルス電流による電気メッキ法を使用し、さらにメッキ浴組成を適正に調整することにより、高Fe濃度及び高飽和磁束密度のFeNiRe合金からなる軟磁性膜を得ることができる。

【0018】

これにより、磁気ヘッドの高記録密度化の要求に対応可能な高い飽和磁束密度を有し、かつ高周波電流領域におけるうず電流損失を低減するために必要になる大きな比抵抗 ρ を有する軟磁性膜を得ることができる。

【0019】

さらに、FeNiRe合金は耐蝕性が良好である。

また、本発明における FeNiRe 合金は、組成式が $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ (ただし、 x 、 y は質量%比で $0.54 \leq x \leq 0.74$ 、 $x + y = 1$ 、 a 、 b は質量%で、 $0 \text{ 質量}\% < b \leq 10.1 \text{ 質量}\%$ 、 $a + b = 100 \text{ 質量}\%$ の関係を満足するものである。) ことが好ましい。

【0020】

本発明では、FeNiRe 合金の組成比を調整することにより、比抵抗が $50 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ より大きく $98 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 以下である軟磁性膜を得ることができる。

【0021】

また、本発明では、比抵抗が $50 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ より大きく $98 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 以下といた高比抵抗である軟磁性膜であっても、飽和磁束密度 B_s を高くすることができる。具体的には、比抵抗が $50 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ より大きく $98 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 以下であり、かつ飽和磁束密度 B_s が 1.14 (T) 以上で 1.55 (T) より小さい軟磁性膜を得ることができる。

【0022】

また、本発明の FeNiRe 合金からなる軟磁性膜は、磁化困難軸方向の保磁力 H_c を 120 (A/m) 以下にすることができる。

【0023】

或いは、本発明では、FeNiRe 合金の組成比を調整することにより、飽和磁束密度 B_s が 1.75 (T) 以上で 1.89 (T) より小さい軟磁性膜を得ることができる。本発明では、飽和磁束密度 B_s が 1.75 (T) 以上で 1.89 (T) より小さいといった高飽和磁束密度である軟磁性膜であっても、比抵抗 ρ を高くすることができる。具体的には、飽和磁束密度 B_s が 1.75 (T) 以上で 1.89 (T) より小さく、かつ比抵抗が $34 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ より大きく $76 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 以下である軟磁性膜を得ることができる。

【0024】

本発明の軟磁性膜の飽和磁束密度 B_s は、Fe の Ni に対する質量%比及び、Re の質量%によって規定される。Re の質量%が大きくなると、FeNiRe 合金の比抵抗 ρ が大きくなり、高周波領域におけるうず電流損失を効果的に低減できるが、飽和磁束密度が低下する。

【0025】

FeNiRe合金中の、FeのNiに対する質量%比及びRe濃度と、比抵抗 ρ 及び飽和磁束密度Bsとの関係については後述する実施例のところで詳述する。

【0026】

また、本発明は、磁性材料製の下部コア層と、前記下部コア層上に磁気ギャップを介して形成された上部コア層と、両コア層に記録磁界を与えるコイル層とを有する薄膜磁気ヘッドにおいて、

少なくとも一方のコア層は、前記FeNiRe合金からなる軟磁性膜により形成されていることを特徴とするものである。

【0027】

また、前記下部コア層上には記録媒体との対向面で下部磁極層が隆起形成されていることが好ましい。特に、前記下部磁極層が前記FeNiRe合金からなる軟磁性膜により形成されていることが好ましい。

【0028】

或いは、本発明の薄膜磁気ヘッドは、下部コア層及び上部コア層と、前記下部コア層と上部コア層との間に位置し且つトラック幅方向の幅寸法が前記下部コア層及び上部コア層よりも短く規制された磁極部とを有し、

前記磁極部は、下部コア層と連続する下部磁極層、上部コア層と連続する上部磁極層、および前記下部磁極層と前記上部磁極層間に位置するギャップ層とで構成され、あるいは前記磁極部は、上部コア層と連続する上部磁極層、および前記上部磁極層と下部コア層との間に位置するギャップ層とで構成されており、前記上部コア層、前記下部コア層、前記下部磁極層、または前記上部磁極層のうち少なくとも一つは前記FeNiRe合金からなる軟磁性膜により形成されているものであることが好ましい。

【0029】

または、前記上部磁極層及び／または下部磁極層のみが前記FeNiRe合金からなる軟磁性膜により形成され、前記上部コア層及び前記下部コア層は、前記FeNiRe合金以外の合金からなる軟磁性膜からなるものであってもよい。

【 0 0 3 0 】

さらに、前記コア層は、少なくとも磁気ギャップに隣接する部分が2層以上の磁性層から成り、あるいは前記磁極層が2層以上の磁性層から成り、前記磁性層のうち前記磁気ギャップから離れている側の磁性層が、前記FeNiRe合金からなる軟磁性膜により形成されていることが好ましい。

【 0 0 3 1 】

上記したように本発明における軟磁性膜としてのFeNiRe合金は、飽和磁束密度 B_s が高く、また比抵抗も大きい。このような軟磁性膜を薄膜磁気ヘッドのコア材、上部磁極層または下部磁極層として使用することで、ギャップ近傍での磁束の集中化を図りつつ、高周波領域におけるうず電流損失を低減できるので、高記録密度化を促進させることができる。

【 0 0 3 2 】

【発明の実施の形態】

図1は、本発明の第1実施形態の薄膜磁気ヘッドの部分正面図、図2は図1に示す薄膜磁気ヘッドを2-2線から切断し矢印方向から見た縦断面図である。

【 0 0 3 3 】

本発明における薄膜磁気ヘッドは、浮上式ヘッドを構成するセラミック材のスライダ11のトレーリング側端面11aに形成されたものであり、MRヘッドh1と、書込み用のインダクティブヘッドh2とが積層された、MR/インダクティブ複合型薄膜磁気ヘッド（以下、単に薄膜磁気ヘッドという）となっている。

【 0 0 3 4 】

MRヘッドh1は、磁気抵抗効果を利用してハードディスクなどの記録媒体からの洩れ磁界を検出し、記録信号を読み取るものである。

【 0 0 3 5 】

図2に示すように、前記スライダ11のトレーリング側端面11a上に Al_2O_3 膜12を介してNiFe等からなる磁性材料製の下部シールド層13が形成され、さらにその上に絶縁材料製の下部ギャップ層14が形成されている。

【 0 0 3 6 】

前記下部ギャップ層14上には記録媒体との対向面からハイト方向（図示Y方

向)に向けて、異方性磁気抵抗効果(AMR)素子、巨大磁気抵抗効果(GMR)素子あるいはトンネル型磁気抵抗効果(TMR)素子などの磁気抵抗効果素子10が形成され、さらに前記磁気抵抗効果素子10及び下部ギャップ層14上には絶縁材料製の上部ギャップ層15が形成されている。さらに前記上部ギャップ層15の上にNiFe等の磁性材料で形成された上部シールド層16が形成されている。MRヘッドh1は、前記下部シールド層13から上部シールド層16までの積層膜で構成されている。

【0037】

次に図1及び2に示す実施形態では、前記上部シールド層16がインダクティブヘッドh2の下部コア層としても兼用されており、この下部コア層16上には、Gd決め層17が形成され、記録媒体との対向面から前記Gd決め層17の先端部までの長さ寸法でギャップデプス(Gd)が規制される。前記Gd決め層17は例えば絶縁材料などで形成される。

【0038】

また前記下部コア層16の上面16aは図1に示すように、磁極部18の基端からトラック幅方向(図示X方向)に離れるにしたがって下面方向に傾く傾斜面で形成されており、これによりサイドフリンジングの発生を抑制することが可能である。

【0039】

また図2に示すように、記録媒体との対向面から前記Gd決め層17上にかけて磁極部18が形成されている。

【0040】

前記磁極部18は下から下部磁極層19、非磁性のギャップ層20、及び上部磁極層21が積層されている。

【0041】

前記下部磁極層19は、下部コア層16上に直接メッキ形成されている。また前記下部磁極層19の上に形成されたギャップ層20は、メッキ形成可能な非磁性金属材料で形成されていることが好ましい。具体的には、NiP、NiPd、NiW、NiRe、Au、Pt、Rh、Pd、Ru、Crのうち1種または2種

以上から選択されたものであることが好ましい。

【 0 0 4 2 】

なお本発明における具体的な実施形態として前記ギャップ層 2 0 には N i P が使用される。N i P で前記ギャップ層 2 0 を形成することで前記ギャップ層 2 0 を適切に非磁性状態にできるからである。

【 0 0 4 3 】

さらに前記ギャップ層 2 0 の上に形成された上部磁極層 2 1 は、その上に形成される上部コア層 2 2 と磁氣的に接続される。

【 0 0 4 4 】

上記のようにギャップ層 2 0 がメッキ形成可能な非磁性金属材料で形成されると、下部磁極層 1 9、ギャップ層 2 0 及び上部磁極層 2 1 を連続メッキ形成することが可能である。

【 0 0 4 5 】

なお前記磁極部 1 8 は、ギャップ層 2 0 及び上部磁極層 2 1 の 2 層で構成されていてもよい。

【 0 0 4 6 】

図 1 に示すように、前記磁極部 1 8 はトラック幅方向（図示 X 方向）における幅寸法がトラック幅 T w で形成されている。

【 0 0 4 7 】

図 1 及び図 2 に示すように、前記磁極部 1 8 のトラック幅方向（図示 X 方向）の両側及びハイト方向後方（図示 Y 方向）には絶縁層 2 3 が形成されている。前記絶縁層 2 3 の上面は前記磁極部 1 8 の上面と同一平面とされる。

【 0 0 4 8 】

図 2 に示すように、前記絶縁層 2 3 上にはコイル層 2 4 が螺旋状にパターン形成されている。また前記コイル層 2 4 上は有機絶縁製の絶縁層 2 5 によって覆われている。

【 0 0 4 9 】

図 2 に示すように、磁極部 1 8 上から絶縁層 2 5 上にかけて上部コア層 2 2 が例えばフレームメッキ法によりパターン形成されている。

【0050】

メッキ形成により前記上部コア層22及び／または下部コア層16の厚みを比較的自由に変更でき、前記上部コア層22及び／または下部コア層16を厚みのある任意の形状を有する軟磁性膜として形成することができる。

【0051】

図1に示すように、前記上部コア層22の先端部22aは、記録媒体との対向面でのトラック幅方向における幅寸法がT1で形成され、かかる幅寸法T1はトラック幅Twよりも大きく形成されている。

【0052】

また図2に示すように、前記上部コア層22の基端部22bは、下部コア層16上に形成された磁性材料製の接続層（バックギャップ層）26上に直接接続されている。

【0053】

本発明では、前記上部コア層22及び／または下部コア層16が組成式がFeNiReで示される合金からなる軟磁性膜として形成されている。

【0054】

FeNiRe合金の具体的な組成式は、例えば $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ （ただし、 x 、 y は質量%比で $0.54 \leq x \leq 0.74$ 、 $x+y=1$ 、 a 、 b は質量%で、 $0 \text{ 質量}\% < b \leq 10.1 \text{ 質量}\%$ 、 $a+b=100 \text{ 質量}\%$ の関係を満足するものである。）で示される。

【0055】

本発明では、前記上部コア層22及び／または下部コア層16を飽和磁束密度が高く、同時に高比抵抗である軟磁性膜によって形成するために、NiFeにReを添加したFeNiRe合金からなる軟磁性膜を用いている。

【0056】

前記上部コア層22及び／または下部コア層16は、Reが含有されることにより比抵抗が増大している。

【0057】

また、Feを含有する軟磁性膜の飽和磁束密度Bsは、主としてFeの含有量

に左右され、Feの組成比が多いほど前記Bsは大きくなる。その理由は、Slater-Pauling曲線に示される原子磁気モーメントの關係に由来している。しかしながらFeの組成比がある一定以上多くなるとメッキ膜の成長過程が阻害され、緻密な結晶を形成できず、前記Bsは低下するものと考えられる。

【0058】

後述する本発明の製造方法によって、パルス電流による電気メッキ法を使用し、さらにメッキ浴組成を適正に調整することで、Feの組成比が大きく、しかも高飽和磁束密度Bsを安定して発生させることのできるFeNiRe合金からなる軟磁性膜を得ることができ、前記上部コア層22及び／または下部コア層16とすることができる。

【0059】

これにより、磁気ヘッドの高記録密度化の要求に対応可能な高い飽和磁束密度を有し、かつ高周波電流領域におけるうず電流損失を低減するために必要になる大きな比抵抗 ρ を有する前記上部コア層22及び／または下部コア層16を得ることができる。

【0060】

さらに、FeNiRe合金からなる前記上部コア層22及び／または下部コア層16は耐蝕性が良好である。

【0061】

本発明では、FeNiRe合金の組成比を調整することにより、比抵抗が $50\mu\Omega\cdot\text{cm}$ より大きく $98\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 以下である軟磁性膜からなる前記上部コア層22及び／または下部コア層16を得ることができる。

【0062】

また、本発明では、比抵抗が $50\mu\Omega\cdot\text{cm}$ より大きく $98\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 以下といった高比抵抗である軟磁性膜であっても、飽和磁束密度Bsを高くすることができる。具体的には、比抵抗が $50\mu\Omega\cdot\text{cm}$ より大きく $98\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 以下であり、かつ飽和磁束密度Bsが1.14(T)以上で1.55(T)より小さい軟磁性膜からなる前記上部コア層22及び／または下部コア層16を得ることができる。

【0063】

また、本発明では、前記上部コア層22及び／または下部コア層16を形成するためのFeNiRe合金からなる軟磁性膜の磁化困難軸方向の保磁力 H_c を120 (A/m) 以下にすることができる。

【0064】

或いは、本発明では、FeNiRe合金の組成比を調整することにより、飽和磁束密度 B_s が1.75 (T) 以上で1.89 (T) より小さい軟磁性膜からなる前記上部コア層22及び／または下部コア層16を得ることができる。本発明では、飽和磁束密度 B_s が1.76 (T) 以上で1.88 (T) より小さいといった高飽和磁束密度である軟磁性膜であっても、比抵抗 ρ を高くすることができる。具体的には、飽和磁束密度 B_s が1.75 (T) 以上で1.89 (T) より小さく、かつ比抵抗が $34 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ より大きく $76 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 以下である軟磁性膜からなる前記上部コア層22及び／または下部コア層16を得ることができる。

【0065】

本発明の軟磁性膜の飽和磁束密度 B_s は、FeのNiに対する質量%比及び、Reの質量%によって規定される。Reの質量%が大きくなると、FeNiRe合金の比抵抗 ρ が大きくなり、高周波領域におけるうず電流損失を効果的に低減できるが、飽和磁束密度が低下する。

【0066】

FeNiRe合金中の、FeのNiに対する質量%比及びRe濃度と、比抵抗 ρ 及び飽和磁束密度 B_s との関係については後述する実施例のところで詳述する。

【0067】

上記したように本発明における軟磁性膜としてのFeNiRe合金は、飽和磁束密度 B_s が高く、また比抵抗 ρ も大きい。このような軟磁性膜を薄膜磁気ヘッドのコア材として使用することで、ギャップ近傍での磁束の集中化を図りつつ、高周波領域におけるうず電流損失を低減できるので、高記録密度化を促進させることができる。

【 0 0 6 8 】

上記した FeNiRe 合金からなる軟磁性膜は、他の形態の薄膜磁気ヘッドにも使用することができる。

【 0 0 6 9 】

図 3 は、本発明における第 2 実施形態の薄膜磁気ヘッドの構造を示す部分正面図、図 4 は図 3 に示す 4 - 4 線から薄膜磁気ヘッドを切断し矢印方向から見た縦断面図である。

【 0 0 7 0 】

この実施形態では、MRヘッド h 1 の構造は図 1 及び図 2 と同じである。

図 3 に示すように下部コア層 1 6 上には、絶縁層 3 1 が形成されている。前記絶縁層 3 1 には、記録媒体との対向面からハイト方向（図示 Y 方向）後方に所定の長さ寸法で形成されたトラック幅形成溝 3 1 a が形成されている。前記トラック幅形成溝 3 1 a は記録媒体との対向面においてトラック幅 Tw で形成されている（図 3 を参照のこと）。

【 0 0 7 1 】

前記トラック幅形成溝 3 1 a には、下から下部磁極層 3 2、非磁性のギャップ層 3 3、及び上部磁極層 3 4 が積層された磁極部 3 0 が形成されている。

【 0 0 7 2 】

前記下部磁極層 3 2 は、下部コア層 1 6 上に直接メッキ形成されている。また前記下部磁極層 3 2 の上に形成されたギャップ層 3 3 は、メッキ形成可能な非磁性金属材料で形成されていることが好ましい。具体的には、NiP、NiPd、NiW、NiRe、Au、Pt、Rh、Pd、Ru、Crのうち1種または2種以上から選択されたものであることが好ましい。

【 0 0 7 3 】

なお本発明における具体的な実施形態として前記ギャップ層 3 3 にはNiPが使用される。NiPで前記ギャップ層 3 3 を形成することで前記ギャップ層 3 3 を適切に非磁性状態にできるからである。

【 0 0 7 4 】

なお前記磁極部 3 0 は、ギャップ層 3 3 及び上部磁極層 3 4 の 2 層で構成され

ていてもよい。

【0075】

前記ギャップ層33の上には、記録媒体との対向面からギャップデプス（Gd）だけ離れた位置から絶縁層31上にかけてGd決め層37が形成されている。

【0076】

さらに前記ギャップ層33の上に形成された上部磁極層34は、その上に形成される上部コア層40と磁氣的に接続される。

【0077】

上記のようにギャップ層33がメッキ形成可能な非磁性金属材料で形成されると、下部磁極層32、ギャップ層33及び上部磁極層34を連続メッキ形成することが可能である。

【0078】

図4に示すように前記絶縁層31の上にはコイル層38が螺旋状にパターン形成されている。前記コイル層38は有機絶縁材料などで形成された絶縁層39によって覆われている。

【0079】

図3に示すように、トラック幅規制溝31aのトラック幅方向（図示X方向）における両側端面には、前記上部磁極層34の上面から前記絶縁層31の上面31bにかけて下部コア層16から離れる方向にしたがって徐々に幅寸法が広がる傾斜面31c、31cが形成されている。

【0080】

そして図3に示すように上部コア層40の先端部40aは、前記上部磁極層34上面から前記傾斜面31c、31c上にかけて下部コア層16から離れる方向に形成されている。

【0081】

図4に示すように前記上部コア層40は、記録媒体との対向面からハイト方向（図示Y方向）にかけて絶縁層39上に形成され、前記上部コア層40の基端部40bは下部コア層16上に直接形成されている。

【0082】

図3及び図4に示す第2実施形態では、下部コア層16及び／または上部コア層40は、組成式がFeNiReで示される合金からなる軟磁性膜として形成されている。

【0083】

FeNiRe合金の具体的な組成式は、例えば $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ （ただし、 x 、 y は質量%比で $0.54 \leq x \leq 0.74$ 、 $x+y=1$ 、 a 、 b は質量%で、 $0 \text{ 質量}\% < b \leq 10.1 \text{ 質量}\%$ 、 $a+b=100 \text{ 質量}\%$ の関係を満足するものである。）で示される。

【0084】

上記FeNiRe合金は、飽和磁束密度 B_s が高く、また比抵抗も大きい。このような軟磁性膜を薄膜磁気ヘッドの前記下部コア層16及び／または上部コア層40として使用することで、ギャップ近傍での磁束の集中化を図りつつ、高周波領域におけるうず電流損失を低減できるので、高記録密度化を促進させることができる。

【0085】

図1ないし図4に示す実施形態では、いずれも下部コア層16と上部コア層22、40間に磁極部18、30を有し、下部コア層16及び／または上部コア層22、40が、上記FeNiRe合金からなる軟磁性膜で形成されるものであるが、本発明では、前記下部磁極層19、32及び／または上部磁極層21、34が、上記FeNiRe合金からなる軟磁性膜で形成されるものであってもよい。

【0086】

また、下部コア層16と上部コア層22、40が上記FeNiRe合金以外の軟磁性膜、例えばNiFe（パーマロイ）合金から形成され、前記下部磁極層19、32及び／または上部磁極層21、34が、上記FeNiRe合金からなる軟磁性膜で形成されるものであってもよい。

【0087】

ただし、前記下部磁極層19、32及び／または上部磁極層21、34は、下部コア層16と上部コア層22、40より飽和磁束密度が大きいことが好ましい。

【0088】

また、前記下部磁極層19, 32及び／または上部磁極層21, 34は2層以上の磁性層が積層されて構成されていてもよい。かかる構成の場合、ギャップ層20, 33から離れた側の磁性層がFeNiRe合金からなる軟磁性膜で形成され、ギャップ層20, 33に接する側の磁性層は、ギャップ層20, 33から離れた側の磁性層よりも飽和磁束密度が大きいことが好ましい。これによってギャップ近傍に磁束をより集中させることと、高周波領域における損失の低減ができ、今後の高記録密度化に対応可能な薄膜磁気ヘッドを製造することが可能である。

【0089】

また下部磁極層19, 32の飽和磁束密度 B_s は高いことが好ましいが、上部磁極層21, 34の飽和磁束密度 B_s よりも低くすることにより、下部磁極層と上部磁極層との間における洩れ磁界を磁化反転しやすくすると、より記録媒体への信号の書き込み密度を高くできる。

【0090】

図5は本発明における第3実施形態の薄膜磁気ヘッドの縦断面図である。

この実施形態ではMRヘッドh1が図1と同じである。図5に示すように下部コア層16上にはアルミナなどによる磁気ギャップ層（非磁性材料層）41が形成されている。さらに前記磁気ギャップ層41の上にはポリイミドまたはレジスト材料製の絶縁層43を介して平面的に螺旋状となるようにパターン形成されたコイル層44が設けられている。なお、前記コイル層44はCu（銅）などの電気抵抗の小さい非磁性導電性材料で形成されている。

【0091】

さらに、前記コイル層44はポリイミドまたはレジスト材料で形成された絶縁層45に囲まれ、前記絶縁層45の上に軟磁性材料製の上部コア層46が形成されている。

【0092】

図5に示すように、前記上部コア層46の先端部46aは、記録媒体との対向面において、下部コア層16の上に前記磁気ギャップ層41を介して対向し、磁

気ギャップ長 G_{11} の磁気ギャップが形成されており、上部コア層 4 6 の基端部 4 6 b は図 5 に示すように、下部コア層 1 6 と磁氣的に接続されている。

【 0 0 9 3 】

本発明では、下部コア層 1 6 及び／または上部コア層 4 6 は、組成式が $FeNiRe$ で示される合金からなる軟磁性膜として形成されている。

【 0 0 9 4 】

$FeNiRe$ 合金の具体的な組成式は、例えば $(Fe_xNi_y)_aRe_b$ (ただし、 x, y は質量%比で $0.54 \leq x \leq 0.74$ 、 $x + y = 1$ 、 a, b は質量%で、 $0 \text{ 質量}\% < b \leq 10.1 \text{ 質量}\%$ 、 $a + b = 100 \text{ 質量}\%$ の関係を満足するものである。) で示される。

【 0 0 9 5 】

上記 $FeNiRe$ 合金は、飽和磁束密度 B_s が高く、また比抵抗も大きい。このような軟磁性膜を薄膜磁気ヘッドの前記下部コア層 1 6 及び上部コア層 4 6 として使用することで、ギャップ近傍での磁束の集中化を図りつつ、高周波領域におけるうず電流損失を低減できるので、高記録密度化を促進させることができる。

【 0 0 9 6 】

図 6 は本発明における第 4 実施形態の薄膜磁気ヘッドの縦断面図である。

図 5 との違いは、上部コア層 4 6 が 2 層の磁性層で積層されて構成されていることである。

【 0 0 9 7 】

前記上部コア層 4 6 は、高い飽和磁束密度 B_s を有する高 B_s 層 4 7 とその上に積層された上層 4 8 とで構成されている。

【 0 0 9 8 】

前記上層 4 8 は、組成式が $FeNiRe$ で示される合金からなる軟磁性膜として形成されている。

【 0 0 9 9 】

$FeNiRe$ 合金の具体的な組成式は、例えば $(Fe_xNi_y)_aRe_b$ (ただし、 x, y は質量%比で $0.54 \leq x \leq 0.74$ 、 $x + y = 1$ 、 a, b は質量%で

、 $0 \text{ 質量}\% < b \leq 10.1 \text{ 質量}\%$ 、 $a + b = 100 \text{ 質量}\%$ の関係を満足するものである。)で示される。

【0100】

前記上部コア層46を構成する上層48は、前記高Bs層47よりも比抵抗が高くされている。前記高Bs層47は例えばNiFe合金で形成されている。また、前記高Bs層47が前記上層48よりも高い飽和磁束密度Bsを有すると、ギャップ近傍に磁束を集中させて、記録分解能を向上させることが可能になる。

【0101】

前記上部コア層46に比抵抗の高い上記FeNiRe合金からなる軟磁性膜で形成される上層48が設けられたことで、記録周波数が上昇することにより発生する渦電流による損失を低減させることができ、今後の高記録周波数化に対応可能な薄膜磁気ヘッドを製造することができる。

【0102】

また本発明では図6に示すように、高Bs層47が、ギャップ層41と対向する下層側に形成されていることが好ましい。また前記高Bs層47はギャップ層41上に直接接する上部コア層46の先端部46aのみに形成されていてもよい。

【0103】

また下部コア層16も、高Bs層と高比抵抗層の2層で構成されていてもよい。かかる構成の場合、高比抵抗層の上に高Bs層が積層され、前記高Bs層がギャップ層41を介して上部コア層46と対向する。

【0104】

また図6に示す実施形態では、上部コア層46が2層の積層構造となっているが、3層以上であってもよい。かかる構成の場合、高Bs層47は、磁気ギャップ層41に接する側に形成されることが好ましい。

【0105】

図7は本発明における第5実施形態の薄膜磁気ヘッドの縦断面図である。

図7の実施形態ではMRヘッドh1の構成は図1と同じである。図7に示すように下部コア層16の上に下部磁極層50が記録媒体との対向面から隆起形成さ

れている。前記下部磁極層 5 0 のハイト方向後方（図示 Y 方向）には絶縁層 5 1 が形成されている。前記絶縁層 5 1 の上面は、凹形状となり、コイル形成面 5 1 a が形成されている。

【 0 1 0 6 】

前記下部磁極層 5 0 上から前記絶縁層 5 1 上にかけてギャップ層 5 2 が形成されている。さらに前記絶縁層 5 1 のコイル形成面 5 1 a 上にはギャップ層 5 2 を介してコイル層 5 3 が形成されている。前記コイル層 5 3 上は有機絶縁製の絶縁層 5 4 によって覆われている。

【 0 1 0 7 】

図 7 に示すように上部コア層 5 5 は、前記ギャップ層 5 2 上から絶縁層 5 4 上にかけて例えばフレームメッキ法によりパターン形成されている。

【 0 1 0 8 】

前記上部コア層 5 5 の先端部 5 5 a は前記ギャップ層 5 2 上に下部磁極層 5 0 と対向して形成される。前記上部コア層 5 5 の基端部 5 5 b は、下部コア層 1 6 上に形成された持上げ層 5 6 を介して前記下部コア層 1 6 に磁氣的に接続される。

【 0 1 0 9 】

この実施形態においては、上部コア層 5 5 及び／または下部コア層 1 6 は、組成式が FeNiRe で示される合金からなる軟磁性膜として形成されている。

【 0 1 1 0 】

FeNiRe 合金の具体的な組成式は、例えば $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ （ただし、 x 、 y は質量%比で $0.54 \leq x \leq 0.74$ 、 $x + y = 1$ 、 a 、 b は質量%で、 $0 \text{ 質量}\% < b \leq 10.1 \text{ 質量}\%$ 、 $a + b = 100 \text{ 質量}\%$ の関係を満足するものである。）で示される。

【 0 1 1 1 】

図 7 では下部磁極層 5 0 が形成され、前記下部磁極層 5 0 が下部コア層 1 6 よりも高い飽和磁束密度 B_s を有すると、ギャップ近傍に磁束を集中させることができ記録密度の向上を図ることが可能である。

【 0 1 1 2 】

また、下部磁極層 5 0 が上記 F e N i R e で示される合金からなる軟磁性膜として形成されてもよい。

【 0 1 1 3 】

また、上部コア層 5 5 は、その全体が前記 F e N i R e 合金で形成されていてもよいが、図 6 と同様に前記上部コア層 5 5 が 2 層以上の磁性層の積層構造であり、そのギャップ層 5 2 から離れている側の層が上記 F e N i R e 合金で形成されていてもよい。またかかる場合、前記上部コア層 5 5 の先端部 5 5 a のみが 2 層以上の磁性層の積層構造で形成され、前記ギャップ層 5 2 上に接して高 B s 層が形成されていることが、ギャップ近傍に磁束を集中させ、記録密度を向上させる点からして好ましい。

【 0 1 1 4 】

また各実施形態において、符号 1 6 の層は、下部コア層と上部シールド層の兼用層となっているが、前記下部コア層と上部シールド層とが別々に形成されていてもよい。かかる場合、前記下部コア層と上部シールド層間には絶縁層を介在させる。

【 0 1 1 5 】

次に図 1 ないし図 7 に示す薄膜磁気ヘッドの一般的な製造方法について以下に説明する。

【 0 1 1 6 】

図 1 及び図 2 に示す薄膜磁気ヘッドは、下部コア層 1 6 上に G d 決め層 1 7 を形成した後、レジストを用いて記録媒体との対向面からハイト方向に下部磁極層 1 9、非磁性のギャップ層 2 0 及び上部磁極層 2 1 から成る磁極部 1 8 を連続メッキによって形成する。次に前記磁極部 1 8 のハイト方向後方に絶縁層 2 3 を形成した後、例えば CMP 技術を用いて前記磁極部 1 8 の上面と前記絶縁層 2 3 の上面とを同一平面に平坦化する。前記絶縁層 2 3 の上にコイル層 2 4 を螺旋状にパターン形成した後、前記コイル層 2 4 の上に絶縁層 2 5 を形成する。そして前記磁極部 1 8 上から絶縁層 2 5 上にかけて上部コア層 2 2 を例えばフレームメッキ法により形成する。

【 0 1 1 7 】

図 3 及び図 4 に示す薄膜磁気ヘッドは、下部コア層 1 6 上に絶縁層 3 1 を形成した後、レジストを用いて前記絶縁層 3 1 の記録媒体との対向面からハイト方向後方に向けてトラック幅形成溝 3 1 a を形成する。さらに前記トラック幅形成溝 3 1 a に図 3 に示す傾斜面 3 1 c, 3 1 c を形成する。

【 0 1 1 8 】

前記トラック幅形成溝 3 1 a 内に、下部磁極層 3 2、非磁性のギャップ層 3 3 を形成する。前記ギャップ層 3 3 上から絶縁層 3 1 上に G d 決め層 3 7 を形成した後、前記ギャップ層 3 3 上に上部磁極層 3 4 をメッキ形成する。次に前記絶縁層 3 1 上にコイル層 3 8 を螺旋状にパターン形成した後、前記コイル層 3 8 上に絶縁層 3 9 を形成する。そして前記上部磁極層 3 4 上から絶縁層 3 9 上にかけて上部コア層 4 0 を例えばフレームメッキ法にて形成する。

【 0 1 1 9 】

図 5、図 6 に示す薄膜磁気ヘッドは、まず下部コア層 1 6 上にギャップ層 4 1 を形成し、さらに絶縁層 4 3 を形成した後、前記絶縁層 4 3 の上にコイル層 4 4 をパターン形成する。前記コイル層 4 4 上に絶縁層 4 5 を形成した後、ギャップ層 4 1 から前記絶縁層 4 5 上にかけて上部コア層 4 6 をフレームメッキ法によりパターン形成する。

【 0 1 2 0 】

図 7 に示す薄膜磁気ヘッドは、まず下部コア層 1 6 上にレジストを用いて下部磁極層 5 0 を形成し、さらに前記下部磁極層 5 0 のハイト方向後方に絶縁層 5 1 を形成する。前記下部磁極層 5 0 と前記絶縁層 5 1 の上面は CMP 技術によって一旦平坦化された後、前記絶縁層 5 1 の上面に凹形状となるコイル形成面 5 1 a を形成する。次に前記下部磁極層 5 0 上から前記絶縁層 5 1 上にギャップ層 5 2 を形成した後、前記ギャップ層 5 2 上にコイル層 5 3 を螺旋状にパターン形成し、さらに前記コイル層 5 3 上に絶縁層 5 4 を形成する。そして、前記ギャップ層 5 2 上から絶縁層 5 4 上にかけて上部コア層 5 5 を例えばフレームメッキ法によりパターン形成する。

【 0 1 2 1 】

本発明では、下部コア層 1 6、上部コア層 2 2、4 0、4 6、5 5、下部磁極

層 1 9、3 2、5 0、上部磁極層 2 1、3 4 を形成する前記 F e N i R e 合金からなる軟磁性膜を、直流電流またはパルス電流を用いた電気メッキ法によりメッキ形成する。

【 0 1 2 2 】

前記 F e N i R e 合金からなる軟磁性膜をメッキ形成することで任意の膜厚で形成でき、スパッタで形成するよりも厚い膜厚で形成することが可能になる。

【 0 1 2 3 】

さらに、フレームメッキ法を用いることにより、任意の形状の軟磁性膜を得ることが可能である。

【 0 1 2 4 】

パルス電流を用いた電気メッキ法では、例えば電流制御素子の O N / O F F を繰返し、メッキ形成時に、電流を流す時間と、電流を流さない空白な時間を設ける。このように電流を流さない時間を設けることで、F e N i R e 合金膜を、少しずつメッキ形成し、そしてメッキ浴に占める F e イオンの濃度を増やしても、従来のように直流電流を用いた場合に比べメッキ形成時における電流密度の分布の偏りを緩和することが可能になっている。

【 0 1 2 5 】

なおパルス電流は、例えば数秒サイクルで O N / O F F を繰返し、デューティ比を 0. 1 ~ 0. 5 程度にすることが好ましい。パルス電流の条件は、F e N i R e 合金の平均結晶粒径及び膜面の中心線平均粗さ R a に影響を与える。

【 0 1 2 6 】

上記のようにパルス電流による電気メッキ法では、メッキ形成時における電流密度の分布の偏りを緩和することができるから、直流電流による電気メッキ法に比べて F e N i R e 合金に含まれる F e 含有量を従来よりも増やすことが可能になる。

【 0 1 2 7 】

ただし、F e 含有量が低い F e N i R e 合金をメッキ形成するときには、直流電流による電気メッキ法を用いてもよい。具体的には、組成式が $(F e_x N i_y)_a R e_b$ (ただし、x、y は質量%比で $0. 5 4 \leq x \leq 0. 6 2$)、 $x + y = 1$ 、

a, bは質量%で、 $0 \text{ 質量}\% < b \leq 10.1 \text{ 質量}\%$ 、 $a + b = 100 \text{ 質量}\%$ の関係を満足するものである。)で示される軟磁性膜であれば、直流電流による電気メッキ法で製造できる。

【0128】

図8は、本発明の薄膜磁気ヘッドが形成されたスライダの全体図である。図8に示す $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$ からなる略直方体のスライダ60は、ハード磁気ディスク等の磁気記録装置に搭載されて、その対向面60bが記録媒体に対向する。前記スライダ60のトレーリング側の端面60a上に、薄膜磁気ヘッドh2が形成されている。

【0129】

薄膜磁気ヘッドh2が形成されたスライダ60は、対向面60bが磁気記録装置のハードディスクなどの記録媒体(図示せず)に対向した状態で、記録媒体が回転する。このとき記録媒体の表面の空気流により、スライダ60が記録媒体の表面からわずかに浮上した状態となるが、このとき、スライダ60の端面に設けられた薄膜磁気ヘッドh2と記録媒体の表面との距離が所定値内となるように前記スライダ60の浮上姿勢が決められる。

【0130】

薄膜磁気ヘッドh2のコイル層12に記録電流が印加されると、上部コア層6および下部コア層1に記録磁界が誘導される。この記録磁界は、上部磁極層5と下部磁極層3との間でのギャップ層4を挟んで洩れ磁界を形成し、この洩れ磁界が記録媒体に付与される。

【0131】

近年、記録媒体の高記録密度化が進み、それに伴い記録媒体の狭い面積の領域に大きな磁界を集中して記録信号を記録することが求められている。このため、スライダ60の端面に設けられたインダクティブヘッドh2と記録媒体の表面との距離を小さくすることが求められている。

【0132】

しかし、スライダ60の端面に設けられたインダクティブヘッドh2と記録媒体の表面との距離が小さくなると、インダクティブヘッドh2が記録媒体の表面

と接触しやすくなり、記録媒体の表面に塗布されている潤滑剤が薄膜磁気ヘッドに付着してインダクティブヘッドh2が腐蝕しやすくなる。

【0133】

本発明では、下部コア層16、上部コア層22、40、46、55、下部磁極層19、32、50、上部磁極層21、34を前記FeNiRe合金からなる軟磁性膜として形成しているが、FeNiRe合金は耐蝕性に優れた材料であるので、前記潤滑剤が薄膜磁気ヘッドに付着しても下部コア層16、上部コア層22、40、46、55、下部磁極層19、32、50、上部磁極層21、34の腐蝕を抑えることができる。従って、インダクティブヘッドh2と記録媒体の表面との距離を小さくして高記録密度化対応を図ったときのインダクティブヘッドh2の信頼性を向上させることができる。

【0134】

なお本発明では、上記FeNiRe合金からなる軟磁性膜の用途として図1ないし図7に示す薄膜磁気ヘッドを提示したが、この用途に限定されるものではない。例えばFeNiRe合金からなる軟磁性膜は、薄膜インダクタ等の平面型磁気素子等にも使用可能である。

【0135】

【実施例】

電気メッキ法を用いてNiFe合金（比較例）、FeNiRe合金（実施例）をメッキ形成した。

【0136】

NiFe合金のメッキ浴の組成を表1に、FeNiRe合金のメッキ浴の組成を表2に示す。

【0137】

【表 1】

NiFe	
Feイオン濃度 (g/l)	1.0~3.0
Niイオン濃度 (g/l)	10
Feイオン/Niイオン比	0.10~0.30
ホウ酸濃度 (g/l)	25
NaCl濃度 (g/l)	25
サッカリンNa濃度 (g/l)	2.0
パルス電流密度 (mA/cm ²)	19
パルス電流デューティ比	0.3

【0138】

【表 2】

NiFeRe				
成膜品のRe質量%	1~3	3~5	5~7	10
Feイオン濃度 (g/l)	1.2~2.9	1.3~2.9	1.5~2.9	2.5
Niイオン濃度 (g/l)	10	10	10	10
Feイオン/Niイオン比	0.12~0.29	0.13~0.29	0.15~0.29	0.25
Reイオン濃度 (g/l)	0.01~0.04	0.02~0.04	0.03~0.04	0.04
ホウ酸濃度 (g/l)	25	25	25	25
NaCl濃度 (g/l)	25	25	25	25
サッカリンNa濃度 (g/l)	2.0	2.0	2.0	2.0
パルス電流密度 (mA/cm ²)	19~23	13~19	10~13	8
パルス電流デューティ比	0.3	0.3	0.3	0.3

【0139】

なお実験ではメッキ浴温度を25℃~30℃に設定した。またメッキ浴のpHをpH3.0~pH4.0に設定した。またアノード側の電極にはNi電極を用いた。本実施例ではパルス電流によるメッキ法を使用した。なお、パルス電流のデューティ比(ON/OFF)を0.3(300/700msec)に設定した。

【0140】

本実施例ではFeNiRe合金をパルス電流を用いた電気メッキ法によりメッキ形成する。パルス電流を用いた電気メッキ法では、例えば電流制御素子のON/OFFを繰返し、メッキ形成時に、電流を流す時間と、電流を流さない空白な時間を設ける。このように電流を流さない時間を設けることで、FeNiRe合金膜を、少しずつメッキ形成し、直流電流を用いた電気メッキ法に比べメッキ形成時における電流密度の分布の偏りを緩和することが可能になっている。パルス電流による電気メッキ法によれば直流電流による電気メッキ法に比べて軟磁性膜

中に含まれる F e 含有量の調整が容易になり、前記 F e 含有量を膜中に多く取り込むことができる。

【 0 1 4 1 】

本発明の軟磁性膜の製造方法に使用するメッキ浴中に含まれる N i イオン濃度は、 10 g/l と低濃度である。従って、成膜時カソード（メッキされる側）の表面に触れるメッキ液中の N i が相対的に低下し、攪拌効果が向上することで膜中に F e を多く取り込むことができる。また、攪拌効果が向上すると、F e イオンが適切に供給されるため、緻密な結晶を形成できるようになる。

【 0 1 4 2 】

また本実施例のように、F e N i R e 合金のメッキ浴中にサッカリンナトリウム ($\text{C}_6\text{H}_4\text{CONNaSO}_2$) を混入すると、前記サッカリンナトリウムは応力緩和剤の役割を持っているため、メッキ形成された F e N i R e 合金の膜応力を低減させることが可能になる。

【 0 1 4 3 】

また上記したように、F e N i R e 合金のメッキ浴中に、2-ブチン-1、4ジオールを混入すると、前記 F e N i R e 合金の結晶粒径の粗大化を抑制し保磁力 H c を低減させることができる。

【 0 1 4 4 】

また、前記 F e N i R e 合金のメッキ浴中に、界面活性剤である 2-エチルヘキシル硫酸ナトリウムを混入すると、F e N i R e 合金のメッキ形成時に発生する水素を除去でき、メッキ膜に前記水素が付着することを防止することができる。前記メッキ膜に水素が付着すると、結晶が緻密に形成されずその結果、膜面の面粗れをひどくする原因となるため、本発明のように前記水素を除去することで、前記メッキ膜の膜面の面粗れを小さくでき、保磁力 H c を小さくすることが可能である。

【 0 1 4 5 】

なお前記 2-エチルヘキシル硫酸ナトリウムに代えてラウリル硫酸ナトリウムを混入してもよいが、前記ラウリル硫酸ナトリウムは、前記 2-エチルヘキシル硫酸ナトリウムに比べてメッキ浴中に入れたとき泡立ちやすいために、前記ラウ

リル硫酸ナトリウムを効果的に水素を除去できる程度に混入することが難しい。
このため本発明では、前記ラウリル硫酸ナトリウムに比べて泡立ちにくい 2-エチルヘキシル硫酸ナトリウムを水素を効果的に除去できる程度に混入することができて好ましい。

【0146】

また前記メッキ浴中にホウ酸を混入すると、電極表面の pH 緩衝剤となり、またメッキ膜の光沢を出すのに効果的である。

【0147】

まず、組成式が $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ (ただし、 x 、 y は質量%比で $x + y = 1$ 、 a 、 b は質量%で $a + b = 100$ 質量%) で示される軟磁性膜の Fe の組成比 x 及び Re の組成 b (質量%) と、比抵抗 ρ 及び飽和磁束密度 B_s との関係について以下に説明する。

【0148】

図 9 及び図 10 はそれぞれ、組成式が $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ (ただし、 x 、 y は質量%比で $x + y = 1$ 、 a 、 b は質量%で $a + b = 100$ 質量%) で示される軟磁性膜の Fe の組成比 x 及び Re の組成 b (質量%) と、比抵抗 ρ 及び飽和磁束密度 B_s との関係を示すグラフである。

【0149】

図 9 によると、Re を加えない Ni_xFe_y 合金の Ni に対する Fe の組成比 x を大きくすると飽和磁束密度 B_s が上昇する (○)。本発明では、Fe の Ni に対する組成比 x が 0.65 以上であっても飽和磁束密度は上昇し続ける。この傾向は、従来技術である特開平 8-212512 に記載された軟磁性膜と逆である。

【0150】

また、Re を含有する $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ 合金も Ni に対する Fe の組成比 x を大きくすると飽和磁束密度 B_s が上昇する。本実施例では上述のように、メッキ浴中における Ni イオン濃度を 10 g/l とし、且つ Fe イオン濃度 / Ni イオン濃度の比率を 0.12 以上で 0.29 以下とし、さらにパルス電流を用いたメッキ法を用いることで、Fe の Ni に対する組成比 x が 0.65 以上であっ

ても高い飽和磁束密度を発現できる磁性膜を再現性良くメッキ形成することが可能にしている。

【0151】

図9によると、Re濃度b（質量%）が1（質量%）より大きく3（質量%）より小さいとき（□）には、 $(Fe_xNi_y)_aRe_b$ 合金中のFeのNiに対する組成比xが $0.596 \leq x \leq 0.735$ の範囲において、 $(Fe_xNi_y)_aRe_b$ 合金の飽和磁束密度Bsは、Feが増えるに従ってほぼ直線的に上昇している。なお、FeのNiに対する組成比xが0.596のときの飽和磁束密度Bsは1.48（T）、組成比xが0.735のときの飽和磁束密度Bsは1.88（T）である。

【0152】

Re濃度b（質量%）が3（質量%）より大きく5（質量%）より小さいとき（△）には、 $(Fe_xNi_y)_aRe_b$ 合金中のFeのNiに対する組成比xが $0.585 \leq x \leq 0.733$ の範囲において、 $(Fe_xNi_y)_aRe_b$ 合金の飽和磁束密度Bsは、Feが増えるに従って直線的に上昇している。また、FeのNiに対する組成比xが $0.543 \leq x \leq 0.585$ の範囲では、Feが増えても、 $(Fe_xNi_y)_aRe_b$ 合金の飽和磁束密度Bsは変化しない。なお、FeのNiに対する組成比xが0.543のときの飽和磁束密度Bsは1.33（T）、組成比xが0.585のときの飽和磁束密度Bsも1.33（T）、組成比xが0.733のときの飽和磁束密度Bsは1.83（T）である。

【0153】

Re濃度b（質量%）が5（質量%）より大きく7（質量%）より小さいとき（◇）には、 $(Fe_xNi_y)_aRe_b$ 合金中のFeのNiに対する組成比xが $0.580 \leq x \leq 0.722$ の範囲において、 $(Fe_xNi_y)_aRe_b$ 合金の飽和磁束密度Bsは、Feが増えるに従って直線的に上昇している。なお、FeのNiに対する組成比xが0.580のときの飽和磁束密度Bsは1.20（T）、組成比xが0.722のときの飽和磁束密度Bsは1.73（T）である。

【0154】

図9から、NiFeにReを添加すると、飽和磁束密度Bsが低下することが

わかる。 $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ 合金中のFeのNiに対する組成比 x が同じなら、Reの質量% b が大きい程、飽和磁束密度 B_s が小さくなる。また、 $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ 合金中のFeのNiに対する組成比 x が大きい方が、組成比 x が小さい方に比べて、Reの質量% b を増加させたときの飽和磁束密度 B_s の低下率が小さい。

【0155】

なお $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ 合金中のFeのNiに対する組成比 x が0.650であり、Re濃度 b （質量%）が1（質量%） $< b < 3$ （質量%）のときの飽和磁束密度 B_s は1.65（T）、3（質量%） $< b < 5$ （質量%）のときの飽和磁束密度 B_s は1.56（T）、5（質量%） $< b < 7$ （質量%）のときの飽和磁束密度 B_s は1.46（T）である。

【0156】

また、 $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ 合金中のFeのNiに対する組成比 x が0.70であり、Re濃度 b （質量%）が1（質量%） $< b < 3$ （質量%）のときの飽和磁束密度 B_s は1.79（T）、3（質量%） $< b < 5$ （質量%）のときの飽和磁束密度 B_s は1.73（T）、5（質量%） $< b < 7$ （質量%）のときの飽和磁束密度 B_s は1.65（T）である。

【0157】

次に、図10をみると、Reを加えない Ni_xFe_y 合金は、Feの含有量が58質量%のとき、比抵抗が最大値をとっており、Feの含有量が58質量%より大きくても小さくても比抵抗は減少している。

【0158】

Reを含有する $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ 合金の比抵抗 ρ は、常にReを加えない Ni_xFe_y 合金よりの比抵抗 ρ より大きい。また、Reを含有する $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ 合金の比抵抗 ρ は、Niに対するFeの組成比 x が0.580付近で最大値をとっている。

【0159】

図10によると、Re濃度 b （質量%）が1（質量%）より大きく3（質量%）より小さいとき（□）には、 $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ 合金中のFeのNiに対す

る組成比 x が 0.596 のとき $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ の比抵抗 ρ は最大値 $69\ \mu\Omega\cdot\text{cm}$ をとる。また、 $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ 合金中の Fe の Ni に対する組成比 x が $0.596 \leq x \leq 0.735$ の範囲において、 $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ 合金の比抵抗 ρ は、Fe が増えるに従って減少している。なお、Fe の Ni に対する組成比 x が 0.598 のときの比抵抗 ρ は $63\ \mu\Omega\cdot\text{cm}$ であり、組成比 x が 0.678 のときの比抵抗 ρ は $56\ \mu\Omega\cdot\text{cm}$ 、組成比 x が 0.735 のときの比抵抗 ρ は $55\ \mu\Omega\cdot\text{cm}$ である。

【0160】

Re 濃度 b (質量%) が 3 (質量%) より大きく 5 (質量%) より小さいとき (Δ) には、 $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ 合金中の Fe の Ni に対する組成比 x が 0.585 のとき $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ の比抵抗 ρ は最大値 $81\ \mu\Omega\cdot\text{cm}$ をとる。また、 $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ 合金中の Fe の Ni に対する組成比 x が $0.585 \leq x \leq 0.733$ の範囲において、 $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ 合金の比抵抗 ρ は、Fe が増えるに従って減少し、組成 x が $0.543 \leq x \leq 0.559$ の範囲では、Fe が減少するに従って、 $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ 合金の比抵抗 ρ も減少している。なお、Fe の Ni に対する組成比 x が 0.543 のときの比抵抗 ρ は $73\ \mu\Omega\cdot\text{cm}$ であり、組成比 x が 0.613 のときの比抵抗は $70\ \mu\Omega\cdot\text{cm}$ 、組成比 x が 0.733 のときの比抵抗は $67\ \mu\Omega\cdot\text{cm}$ である。

【0161】

Re 濃度 b (質量%) が 5 (質量%) より大きく 7 (質量%) より小さいとき (\diamond) には、 $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ 合金中の Fe の Ni に対する組成比 x が 0.580 のとき $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ の比抵抗 ρ は最大値 $90\ \mu\Omega\cdot\text{cm}$ をとる。また、 $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ 合金中の Fe の Ni に対する組成比 x が $0.580 \leq x \leq 0.722$ の範囲において、 $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ 合金の比抵抗 ρ は、Fe が増えるに従って減少している。なお、Fe の Ni に対する組成比 x が 0.641 のときの比抵抗は $79\ \mu\Omega\cdot\text{cm}$ 、組成比 x が 0.722 のときの比抵抗は $76\ \mu\Omega\cdot\text{cm}$ である。

【0162】

なお $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ 合金中の Fe の Ni に対する組成比 x が 0.650

であり、Re 濃度 b (質量%) が $1 \text{ (質量\%)} < b < 3 \text{ (質量\%)}$ のときの比抵抗 ρ は $59 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 、 $3 \text{ (質量\%)} < b < 5 \text{ (質量\%)}$ のときの比抵抗 ρ は $70 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 、 $5 \text{ (質量\%)} < b < 7 \text{ (質量\%)}$ のときの比抵抗 ρ は $78 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ である。

【0163】

また、 $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ 合金中の Fe の Ni に対する組成比 x が 0.70 であり、Re 濃度 b (質量%) が $1 \text{ (質量\%)} < b < 3 \text{ (質量\%)}$ のときの比抵抗 ρ は $55 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 、 $3 \text{ (質量\%)} < b < 5 \text{ (質量\%)}$ のときの比抵抗 ρ は $68 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 、 $5 \text{ (質量\%)} < b < 7 \text{ (質量\%)}$ のときの比抵抗 ρ は $76 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ である。

【0164】

図9及び図10に示された結果から次のことがわかる。

$(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ 合金中の Re 濃度を大きくすると、比抵抗 ρ が大きくなるが、それに伴って飽和磁束密度 B_s が低下する。

【0165】

$(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ 合金中の、Fe の Ni に対する組成比 x を大きくすると、Re を含有させた場合の飽和磁束密度 B_s の低下は小さくなり、飽和磁束密度 B_s の値が大きくなるが、 $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ 合金中の比抵抗 ρ は最大値よりも小さくなる。

【0166】

また、 $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ 合金中の、Fe の Ni に対する組成比 x が 0.580 付近のとき、 $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ 合金中の比抵抗 ρ は最大値をとるが、飽和磁束密度 B_s の値は小さくなる。

【0167】

そこで、 $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ 合金中の Fe の Ni に対する組成比 x の値が 0.560 である $(\text{Fe}_{0.560}\text{Ni}_{0.440})_a\text{Re}_b$ 合金と、組成比 x の値が 0.730 である $(\text{Fe}_{0.730}\text{Ni}_{0.270})_a\text{Re}_b$ 合金の、Re 含有量を変化させて、飽和磁束密度 B_s と比抵抗 ρ を測定した。

【0168】

図11は、 $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ 合金中のFeのNiに対する組成比 x を0.560に固定し、Re濃度 b を0（質量％）から10.1（質量％）の範囲で変化させて比抵抗 ρ と飽和磁束密度 B_s を測定した結果を示すグラフである。

メッキ浴の組成は以下のとおりである。

【0169】

【表3】

NiFeRe	
成膜品のFe質量％比	0.56
Feイオン濃度 (g/l)	1.2~2.5
Niイオン濃度 (g/l)	10
Feイオン/Niイオン比	0.12~0.25
Reイオン濃度 (g/l)	0.01~0.04
ホウ酸濃度 (g/l)	25
NaCl濃度 (g/l)	25
サッカリンNa濃度 (g/l)	2.0
パルス電流密度 (mA/cm ²)	8~19
パルス電流デューティ比	0.3

【0170】

なお実験ではメッキ浴温度を25℃～30℃に設定した。またメッキ浴のpHをpH3.0～pH4.0に設定した。またアノード側の電極にはNi電極を用いた。本実施例ではパルス電流によるメッキ法を使用した。なお、パルス電流のデューティ比（ON/OFF）を0.3（300/700msec）に設定した。

【0171】

図11をみると、 $(\text{Fe}_{0.560}\text{Ni}_{0.440})_a\text{Re}_b$ 合金中のReの濃度が大きくなるにつれて、 $(\text{Fe}_{0.560}\text{Ni}_{0.440})_a\text{Re}_b$ 合金の飽和磁束密度 B_s は単調減少し、比抵抗 ρ は単調増加している。

【0172】

図11によると、Reを加えない $\text{Ni}_{44}\text{Fe}_{56}$ の飽和磁束密度 B_s は1.55（T）であり、Reを加えていくとRe濃度 b が0（質量％）＜ b ≤7.0（質量％）の範囲において一定の傾きで直線的に減少する。Re濃度 b が7.0（質量％）のとき、すなわち $(\text{Fe}_{0.560}\text{Ni}_{0.440})_{93.0}\text{Re}_{7.0}$ の飽和磁束密度 B_s

s は 1.20 (T) である。Re 濃度 b が 7.0 (質量%) を越えると、飽和磁束密度 B_s 変化の傾きは緩やかになる。Re 濃度 b が 10.1 (質量%) のとき、すなわち $(Fe_{0.560}Ni_{0.440})_{89.9}Re_{10.1}$ の飽和磁束密度 B_s は 1.14 (T) である。

【0173】

また図 11 によると、Re を加えない $Ni_{44}Fe_{56}$ の比抵抗 ρ は $50 \mu\Omega \cdot cm$ である。また、Re 濃度 b が 1.6 (質量%) のとき、すなわち $(Fe_{0.560}Ni_{0.440})_{98.4}Re_{1.6}$ の比抵抗は $63 \mu\Omega \cdot cm$ である。Re 濃度 b が 1.6 (質量%) $\leq b \leq 7.0$ (質量%) の範囲では、比抵抗 ρ は一定の傾きで直線的に増加し、Re 濃度 b が 7.0 (質量%) のとき、すなわち $(Fe_{0.560}Ni_{0.440})_{93.0}Re_{7.0}$ の比抵抗 ρ は $90 \mu\Omega \cdot cm$ である。

【0174】

Re 濃度 b が 7.0 (質量%) を越えると、比抵抗変化の傾きは緩やかになる。Re 濃度 b が 10.1 (質量%) のとき、すなわち $(Fe_{0.560}Ni_{0.440})_{89.9}Re_{10.1}$ の比抵抗 ρ は $98 \mu\Omega \cdot cm$ である。

【0175】

図 12 は、 $(Fe_xNi_y)_aRe_b$ 合金中の Fe の Ni に対する組成比 x を 0.730 に固定し、Re 濃度 b を 0 (質量%) から 6.9 (質量%) の範囲で変化させて比抵抗 ρ と飽和磁束密度 B_s を測定した結果を示すグラフである。

メッキ浴の組成は以下のとおりである。

【0176】

【表 4】

N i F e R e	
成膜品の F e 質量%比	0.73
F e イオン濃度 (g/l)	2.9
N i イオン濃度 (g/l)	10
F e イオン/N i イオン比	0.29
R e イオン濃度 (g/l)	0.04
ホウ酸濃度 (g/l)	25
N a C l 濃度 (g/l)	25
サッカリン N a 濃度 (g/l)	2.0
パルス電流密度 (mA/cm ²)	13-19
パルス電流デューティ比	0.3

【0177】

なお実験ではメッキ浴温度を 25℃～30℃に設定した。またメッキ浴の pH を pH 3.0～pH 4.0 に設定した。またアノード側の電極には N i 電極を用いた。本実施例ではパルス電流によるメッキ法を使用した。なお、パルス電流のデューティ比 (ON/OFF) を 0.3 (300/700 msec) に設定した。

【0178】

図 12 をみると、 $(\text{Fe}_{0.730}\text{Ni}_{0.270})_{\text{a}}\text{Re}_{\text{b}}$ 合金中の R e の濃度が大きくなるにつれて、 $(\text{Fe}_{0.730}\text{Ni}_{0.270})_{\text{a}}\text{Re}_{\text{b}}$ 合金の飽和磁束密度 B_s は単調減少し、比抵抗 ρ は単調増加している。

【0179】

図 12 によると、R e を加えない $\text{Ni}_{27}\text{Fe}_{73}$ の飽和磁束密度 B_s は 1.89 (T) であり、R e 濃度 b が 2.4 (質量%) のとき、すなわち $(\text{Fe}_{0.730}\text{Ni}_{0.270})_{97.6}\text{Re}_{2.4}$ の飽和磁束密度 B_s は 1.88 (T) である。また、R e 濃度 b が 2.4 (質量%) $\leq b \leq 6.9$ (質量%) の範囲では、飽和磁束密度 B_s の減少率が大きくなって、一定の傾きで直線的に減少している。R e 濃度 b が 6.9 (質量%) のとき、すなわち $(\text{Fe}_{0.730}\text{Ni}_{0.270})_{93.1}\text{Re}_{6.9}$ の飽和磁束密度 B_s は 1.75 (T) である。

【0180】

また図 12 によると、R e を加えない $\text{Ni}_{27}\text{Fe}_{73}$ の比抵抗 ρ は $34 \mu\Omega \cdot \text{cm}$

mである。Re濃度bが0（質量％）＜b≤3.9（質量％）の範囲では、比抵抗ρは一定の傾きで直線的に増加し、Re濃度bが3.9（質量％）のとき、すなわち $(\text{Fe}_{0.730}\text{Ni}_{0.270})_{96.1}\text{Re}_{3.9}$ の比抵抗ρは $67.2\mu\Omega\cdot\text{cm}$ である。Re濃度bが3.9（質量％）を越えると、比抵抗変化の傾きは緩やかになる。Re濃度bが6.9（質量％）のとき、すなわち $(\text{Fe}_{0.730}\text{Ni}_{0.270})_{93.1}\text{Re}_{6.9}$ の比抵抗ρは $76\mu\Omega\cdot\text{cm}$ である。

【0181】

図11及び図12の結果から、比抵抗ρの大きい $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ 合金を得たいときには、FeのNiに対する組成比xを0.560～0.580付近にし、さらにRe濃度bを大きくすればよいことがわかる。

【0182】

例えば、 $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ 合金中のFeのNiに対する組成比xを0.560に固定し、Re濃度bを0（質量％）から10.1（質量％）の範囲で変化させると、比抵抗が少なくとも $50\mu\Omega\cdot\text{cm}$ より大きく、最大で $98\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 以下であり、飽和磁束密度Bsが少なくとも1.14（T）以上であり、最大で1.55（T）である軟磁性膜を得ることができる。

【0183】

また、 $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ 合金中のFeのNiに対する組成比xを0.730に固定し、Re濃度bを0（質量％）から6.9（質量％）の範囲で変化させると、比抵抗が少なくとも $34\mu\Omega\cdot\text{cm}$ より大きく、最大で $76\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 以下であり、飽和磁束密度Bsが少なくとも1.75（T）以上であり、最大で1.89（T）である軟磁性膜を得ることができる。

【0184】

また、 $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ 合金中のFeのNiに対する組成比xが大きい方（x=0.730）が、小さい方（x=0.560）に比べて、Reの質量％bを増加させたときの飽和磁束密度Bsの低下率が小さいことがわかる。この結果と図9の結果を合わせて考えると、 $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ 合金中のFeのNiに対する組成比xの値が大きい $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ 合金の方が、小さい方に比べて、Reの質量％bを増加させたときの飽和磁束密度Bsの低下率が小さくなる

ことが、少なくとも $0.560 \leq x \leq 0.730$ の範囲であるときには成り立つことがわかる。

【0185】

図13は、FeのNiに対する組成比 x を 0.560 に固定し Re 濃度 b を変化した $(\text{Fe}_{0.560}\text{Ni}_{0.440})_a\text{Re}_b$ 合金からなる軟磁性膜と、FeのNiに対する組成比 x を 0.730 に固定し Re 濃度 b を変化した $(\text{Fe}_{0.730}\text{Ni}_{0.270})_a\text{Re}_b$ 合金からなる軟磁性膜の保磁力 H_c を示すグラフである。図14は軟磁性膜の磁化困難軸方向に外部磁界を与えて測定した保磁力のグラフである。

【0186】

図13の(□)によると、 $(\text{Fe}_{0.730}\text{Ni}_{0.270})_a\text{Re}_b$ 合金中の Re 濃度 b が 0 (質量%) より大きく 6.9 (質量%) 以下であるなら、 $(\text{Fe}_{0.730}\text{Ni}_{0.270})_a\text{Re}_b$ 合金からなる軟磁性膜の磁化困難軸方向の保磁力 H_c は、 264 (A/m) 以下になる。特に、Re 濃度 b が 2.4 (質量%) 以上 6.9 (質量%) 以下であるなら、 $(\text{Fe}_{0.730}\text{Ni}_{0.270})_a\text{Re}_b$ 合金からなる軟磁性膜の磁化困難軸方向の保磁力 H_c は 184 (A/m) 以下になる。さらに、Re 濃度 b が 2.4 (質量%) 以上 3.9 (質量%) 以下であるなら、 $(\text{Fe}_{0.730}\text{Ni}_{0.270})_a\text{Re}_b$ 合金からなる軟磁性膜の磁化困難軸方向の保磁力 H_c は 120 (A/m) 以下になる。

【0187】

また、図13の(◇)によると $(\text{Fe}_{0.560}\text{Ni}_{0.440})_a\text{Re}_b$ 合金中の Re 濃度 b が 0 (質量%) より大きく 10.1 (質量%) 以下であるなら、 $(\text{Fe}_{0.560}\text{Ni}_{0.440})_a\text{Re}_b$ 合金からなる軟磁性膜の磁化困難軸方向の保磁力 H_c は、 120 (A/m) 以下になる。

【0188】

次に、 $(\text{Fe}_{0.730}\text{Ni}_{0.270})_{93.1}\text{Re}_{6.9}$ 合金からなる軟磁性膜、 $(\text{Fe}_{0.750}\text{Ni}_{0.250})_{95.0}\text{Mo}_{5.0}$ 合金からなる軟磁性膜、及び $\text{Ni}_{27}\text{Fe}_{73}$ からなる軟磁性膜の耐蝕性を調べた。

【0189】

それぞれの軟磁性膜をウェハー上に $1\mu\text{m}$ の膜厚で成膜し、生理食塩水 (9 g

／1NaCl) つけ、室温 (23℃) で、24 時間の浸漬試験を実施したときのサビの発生率をみた。結果を表 5 に示す。

【0190】

【表 5】

薄膜組成	$(\text{Fe}_{0.730}\text{Ni}_{0.170})_{13.1}\text{Re}_{1.9}$	$(\text{Fe}_{0.750}\text{Ni}_{0.250})_{11.0}\text{Re}_{1.0}$	$\text{Ni}_{17}\text{Fe}_{73}$
サビの面積	0 %	20 %	0 %

【0191】

表 5 の結果から、本発明の FeNiRe 合金からなる軟磁性膜は、従来高比抵抗の軟磁性材料として知られていた FeNiMo 合金からなる軟磁性膜より耐食性に優れていることがわかった。なお、FeNiMo 合金からなる軟磁性膜は Mo の含有量を増やすと耐蝕性がさらに悪化するが、本発明の FeNiRe 合金からなる軟磁性膜は Re の含有量を増やしても耐蝕性の悪化は見られなかった。

【0192】

なお、FeNiRe 合金の組成比は ICP (誘導結合プラズマ) 法によって測定した。

【0193】

【発明の効果】

以上詳細に説明した本発明の FeNiRe 合金からなる軟磁性膜は、飽和磁束密度が高く、同時に高比抵抗である。

【0194】

本発明の軟磁性膜では、Re が含有されることにより比抵抗が増大している。

また、パルス電流による電気メッキ法を使用することで、Fe の組成比が大きく、しかも高飽和磁束密度 B_s を安定して発生させることのできる FeNiRe 合金からなる軟磁性膜を得ることができる。

【0195】

これにより、磁気ヘッドの高記録密度化の要求に対応可能な高い飽和磁束密度を有し、かつ高周波電流領域におけるうず電流損失を低減するために必要になる

大きな比抵抗 ρ を有する軟磁性膜を得ることができる。

【0196】

さらに、FeNiRe合金は耐蝕性が良好である。

また、本発明では、比抵抗が $50\mu\Omega\cdot\text{cm}$ より大きく $98\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 以下といった高比抵抗である軟磁性膜であっても、飽和磁束密度 B_s を高くすることができる。具体的には、比抵抗が $50\mu\Omega\cdot\text{cm}$ より大きく $98\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 以下であり、かつ飽和磁束密度 B_s が1.14 (T)以上で1.55 (T)より小さい軟磁性膜を得ることができる。

【0197】

また、本発明のFeNiRe合金からなる軟磁性膜は、保磁力 H_c を120 (A/m)以下にすることができる。

【0198】

或いは、本発明では、飽和磁束密度 B_s が1.75 (T)以上で1.89 (T)より小さいといった高飽和磁束密度である軟磁性膜であっても、比抵抗 ρ を高くすることができる。具体的には、飽和磁束密度 B_s が1.75 (T)以上で1.89 (T)より小さく、かつ比抵抗が $34\mu\Omega\cdot\text{cm}$ より大きく $76\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 以下である軟磁性膜を得ることができる。

【0199】

また本発明では、メッキ浴組成を適正に調整し、パルス電流を用いた電気メッキ法により、前記軟磁性膜を再現性良くメッキ形成することができる

また、本発明のFeNiRe合金からなる軟磁性膜を、薄膜磁気ヘッドのコア層や磁極層に使用すれば、今後の高記録密度化、高周波数化に対応可能な薄膜磁気ヘッドを製造できる。

【0200】

また、薄膜磁気ヘッドの下部コア層、上部コア層、下部磁極層あるいは上部磁極層を耐蝕性に優れた前記FeNiRe合金からなる軟磁性膜として形成することにより、薄膜磁気ヘッドと記録媒体の表面との距離を小さくして高記録密度化対応を図ったときの薄膜磁気ヘッドの腐蝕を低減して信頼性を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第 1 実施形態の薄膜磁気ヘッドの部分正面図、

【図 2】

図 1 の縦断面図、

【図 3】

本発明の第 2 実施形態の薄膜磁気ヘッドの部分正面図、

【図 4】

図 3 の縦断面図、

【図 5】

本発明の第 3 実施形態の薄膜磁気ヘッドの縦断面図、

【図 6】

本発明の第 4 実施形態の薄膜磁気ヘッドの縦断面図、

【図 7】

本発明の第 5 実施形態の薄膜磁気ヘッドの縦断面図、

【図 8】

本発明の薄膜磁気ヘッドが形成されたスライダの全体図、

【図 9】

組成式が $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ (ただし、 x 、 y は質量% 比で $x + y = 1$ 、 a 、 b は質量% で $a + b = 100$ 質量% で示される軟磁性膜の Fe の組成比 x 及び Re の組成 b (質量%) と飽和磁束密度 B_s との関係を示すグラフ、

【図 10】

組成式が $(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ (ただし、 x 、 y は質量% 比で $x + y = 1$ 、 a 、 b は質量% で $a + b = 100$ 質量% で示される軟磁性膜の Fe の組成比 x 及び Re の組成 b (質量%) と、比抵抗 ρ との関係を示すグラフ、

【図 11】

$(\text{Fe}_x\text{Ni}_y)_a\text{Re}_b$ 合金中の Fe の Ni に対する組成比 x を 0.560 に固定し、 Re 濃度 b を 0 (質量%) から 10.1 (質量%) の範囲で変化させて比抵抗 ρ と飽和磁束密度 B_s を測定した結果を示すグラフ、

【図 1 2】

(Fe_xNi_y) $_a\text{Re}_b$ 合金中の Fe の Ni に対する組成比 x を 0.730 に固定し、Re 濃度 b を 0 (質量%) から 6.9 (質量%) の範囲で変化させて比抵抗 ρ と飽和磁束密度 B_s を測定した結果を示すグラフ、

【図 1 3】

Fe の Ni に対する組成比 x を 0.560 または 0.730 に固定し Re 濃度 b を変化させた (Fe_xNi_y) $_a\text{Re}_b$ 合金からなる軟磁性膜の磁化困難軸方向の保磁力 H_c を示すグラフ、

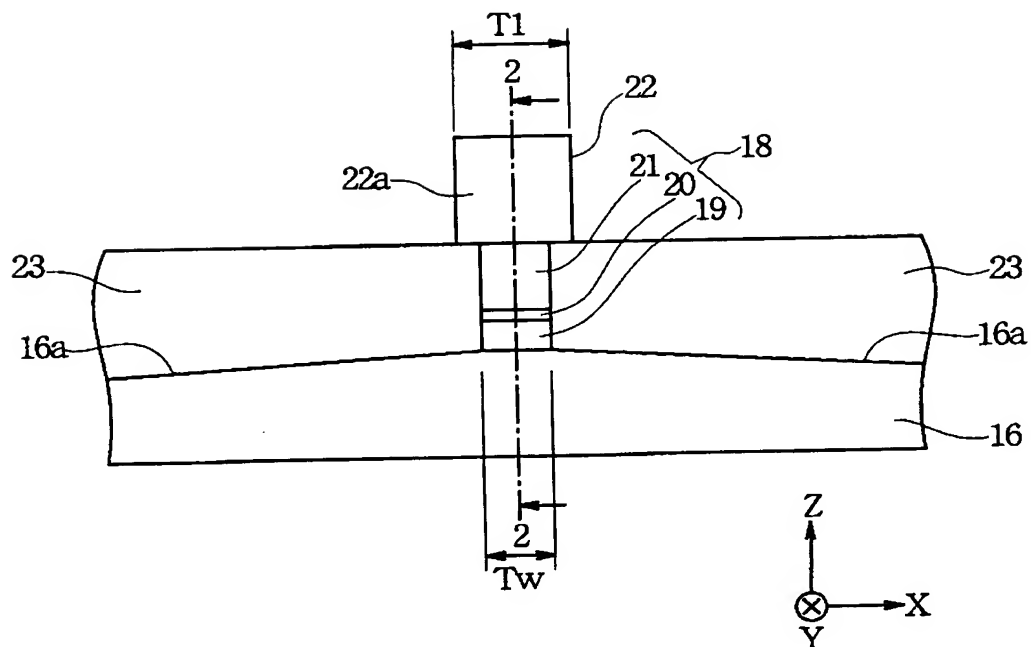
【符号の説明】

- 1 1 スライダ
- 1 0 磁気抵抗効果素子
- 1 6 下部コア層 (上部シールド層)
- 1 8、3 0 磁極部
- 1 9、3 2、5 0 下部磁極層
- 2 0、3 3 ギャップ層
- 2 1、3 4 上部磁極層
- 2 2、4 0、4 6、5 5 上部コア層
- 4 1 磁気ギャップ層
- 4 7 高 B_s 層
- 4 8 上層

【書類名】 図面

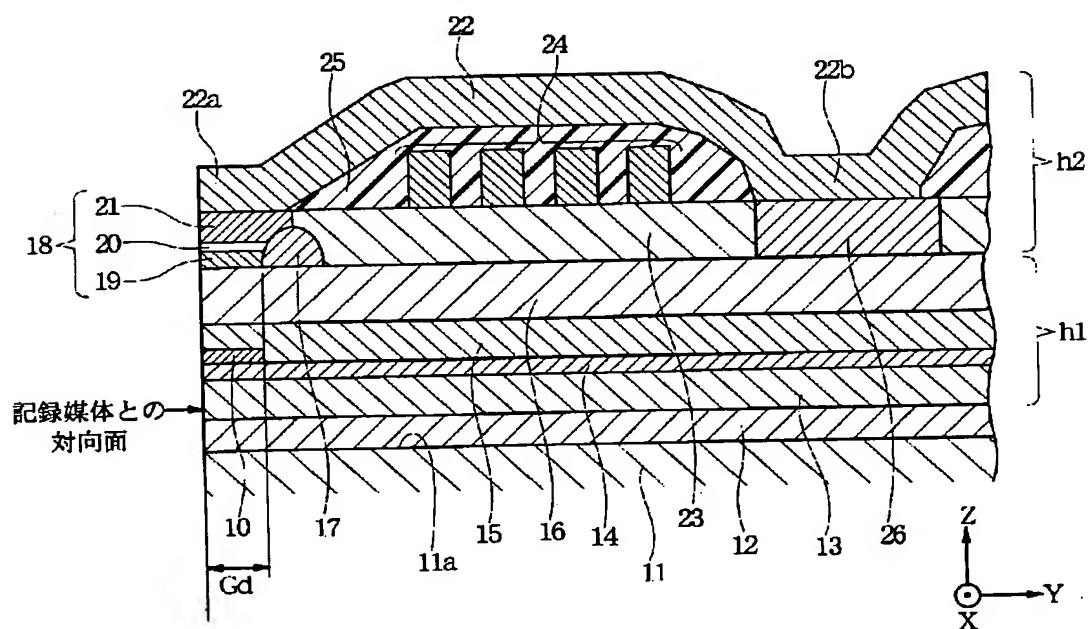
【図 1】

図 1



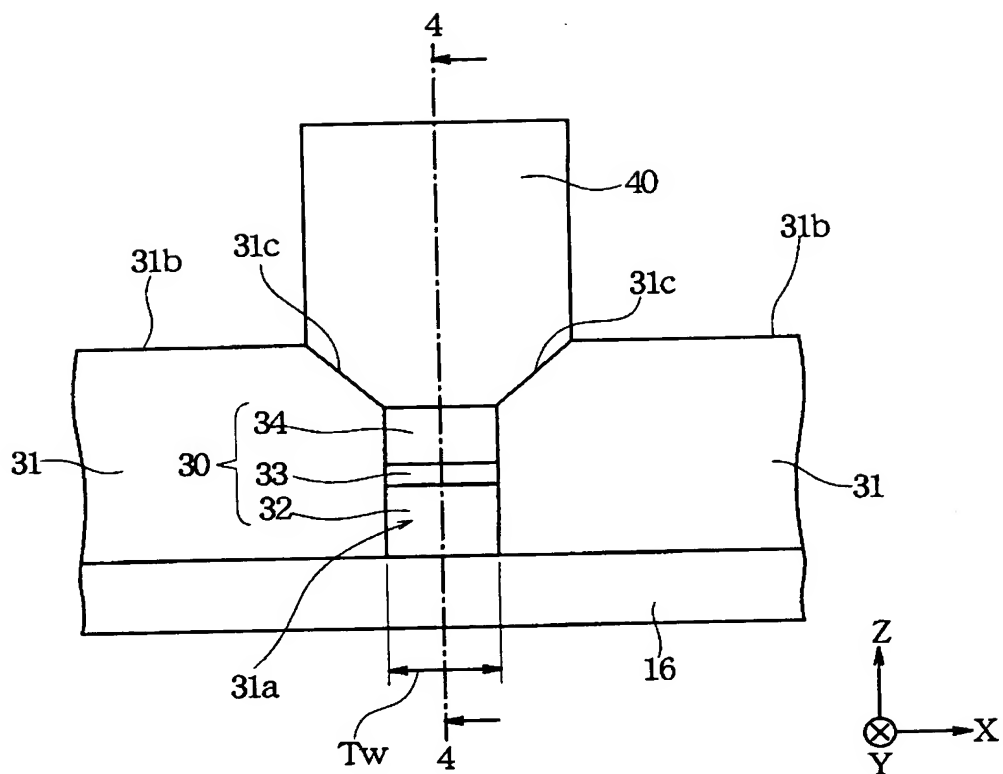
【図 2】

図 2



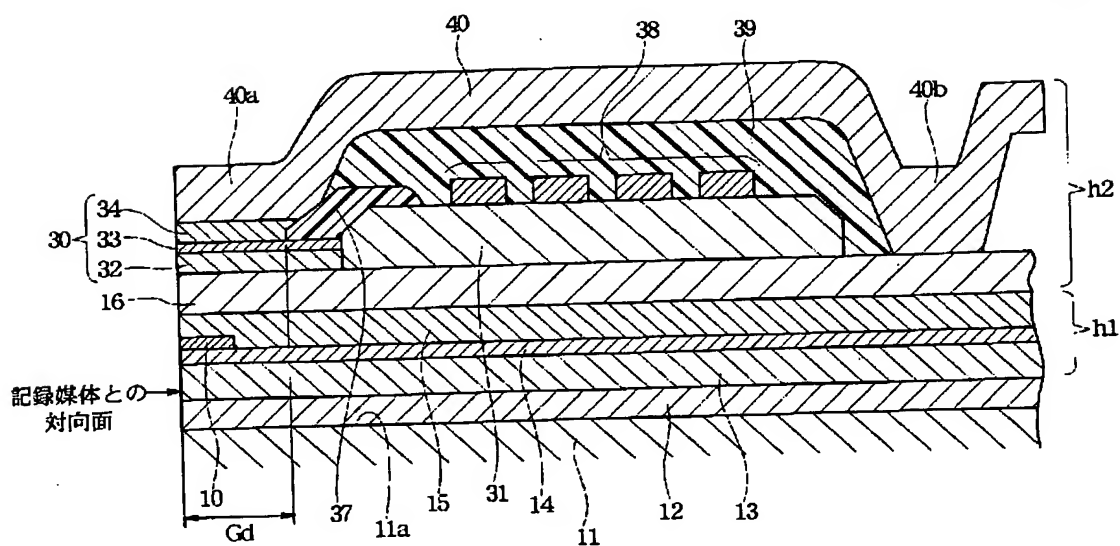
【図 3】

図 3



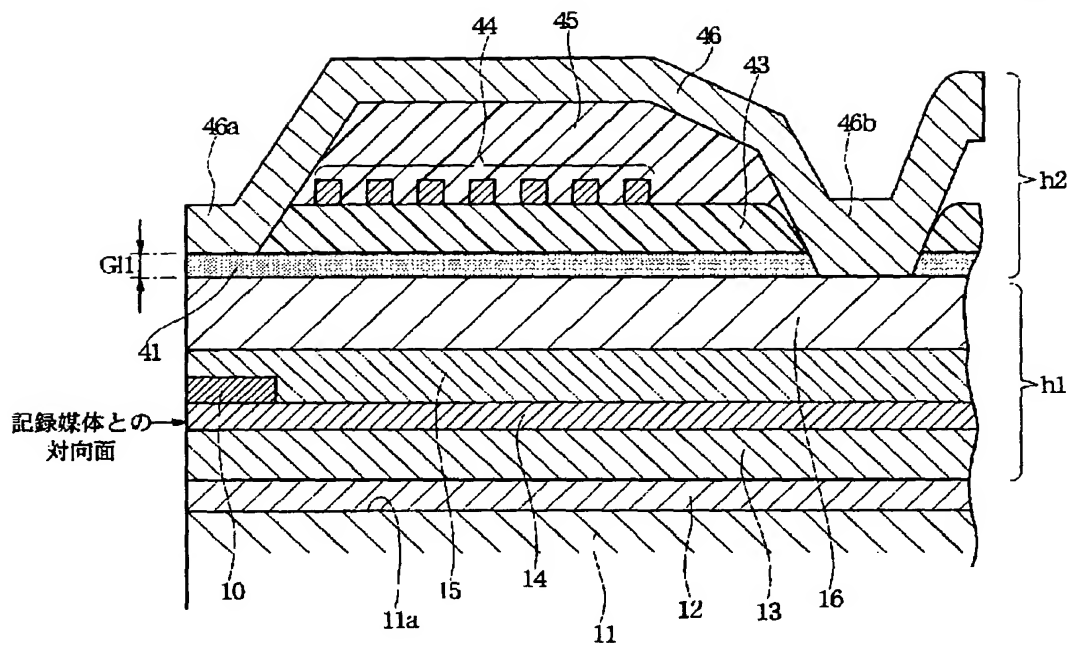
【図 4】

図 4



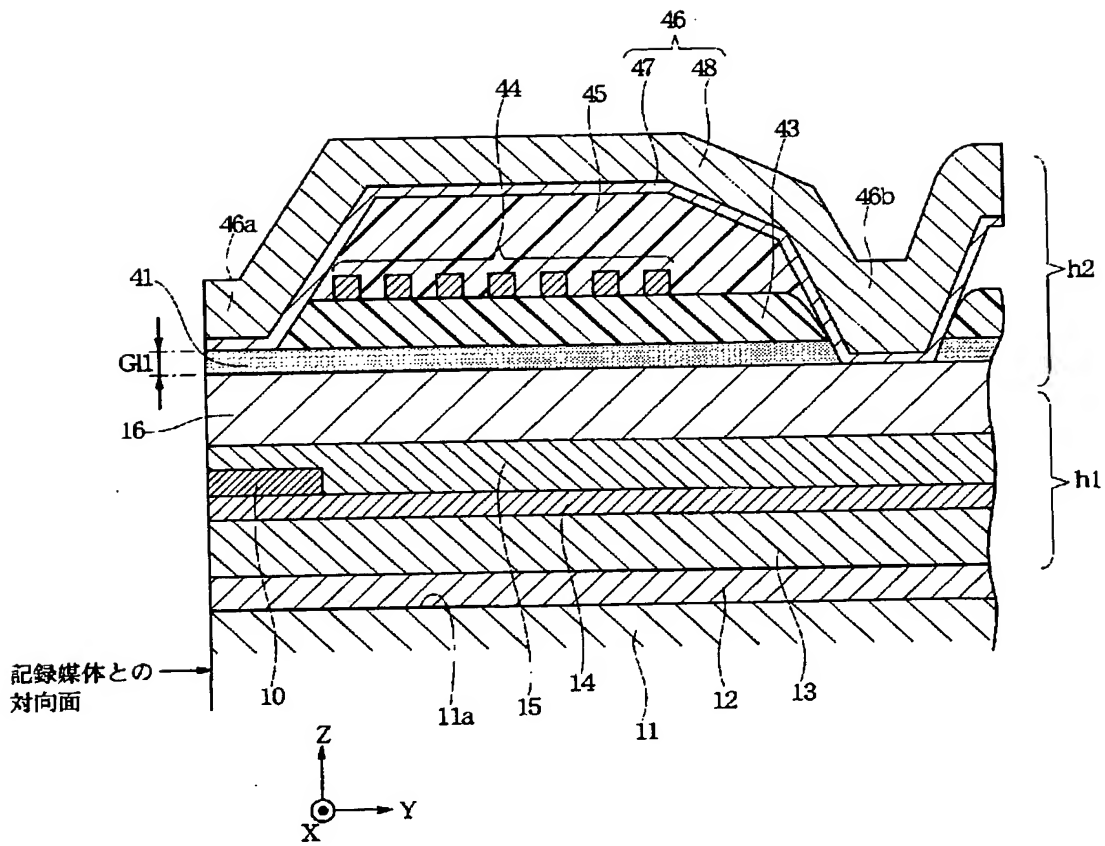
【図 5】

図 5

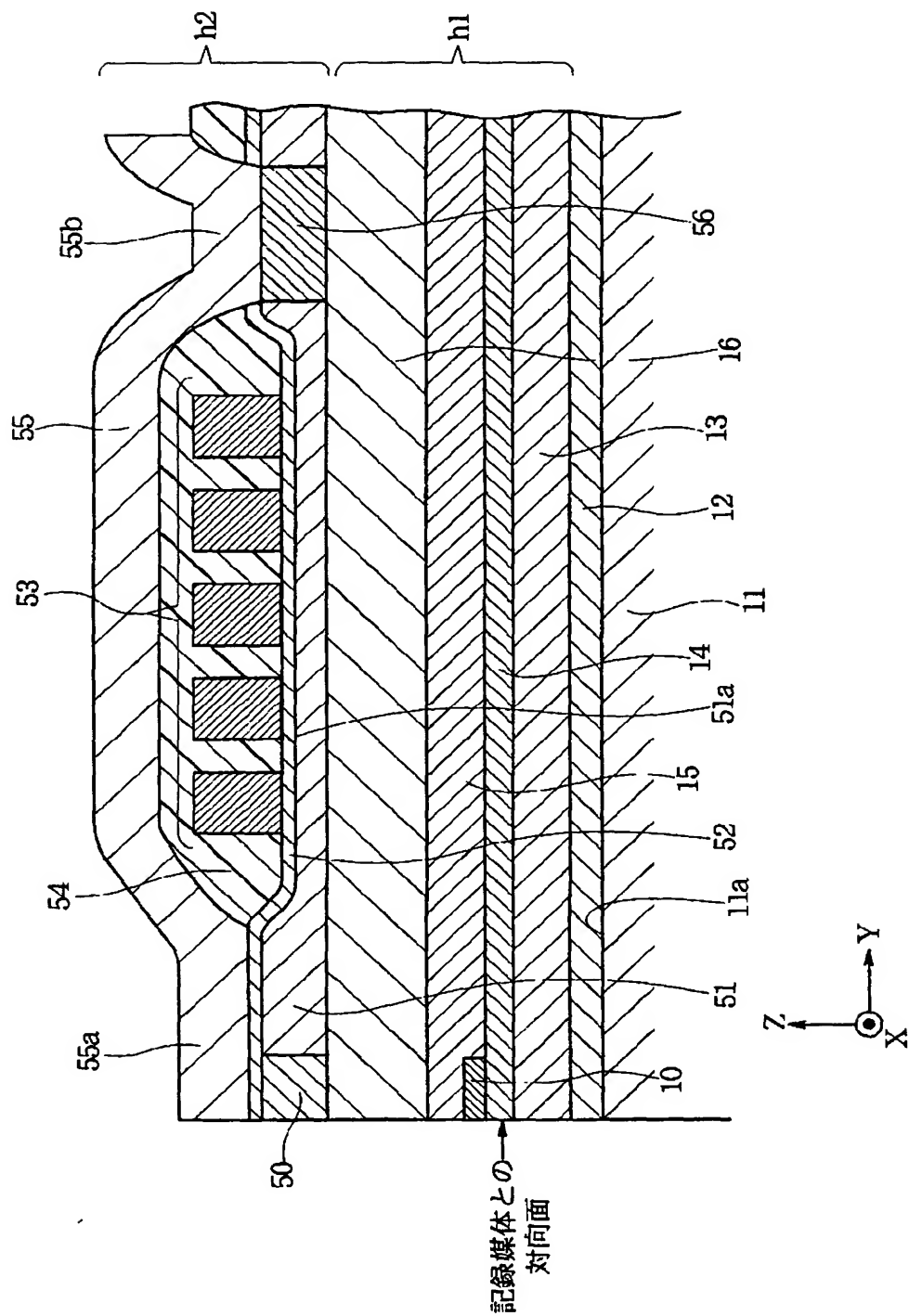


【図 6】

図 6

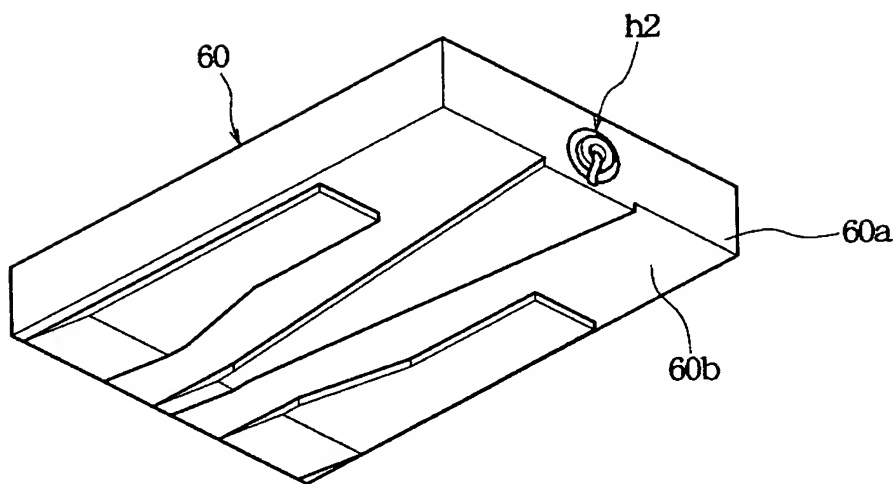


【図 7】



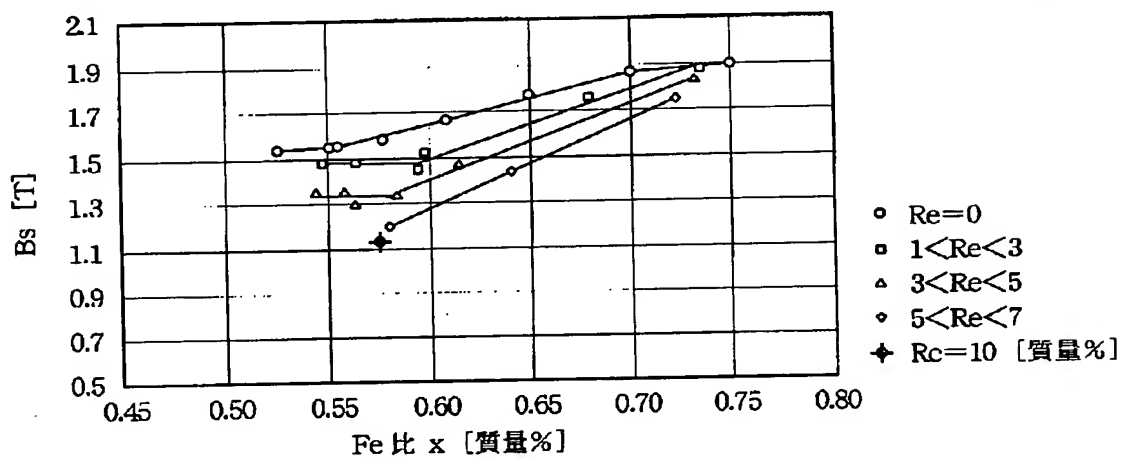
【図 8】

図 8



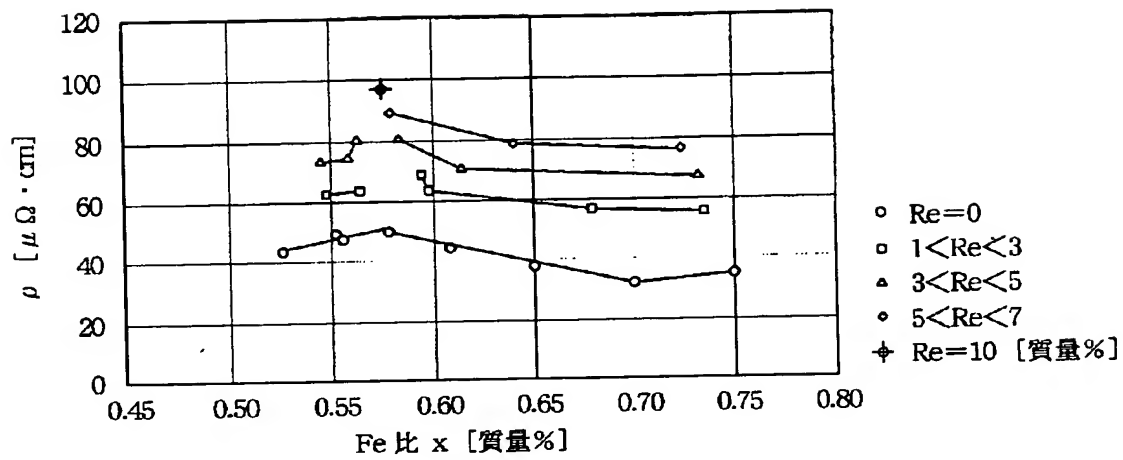
【図 9】

図 9



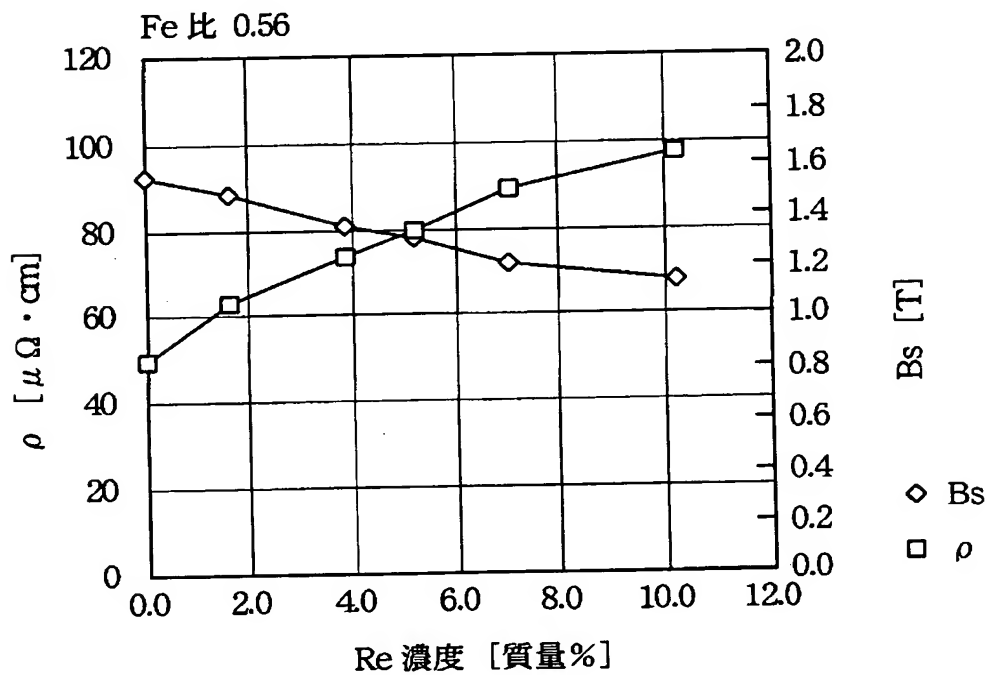
【図 10】

図 10

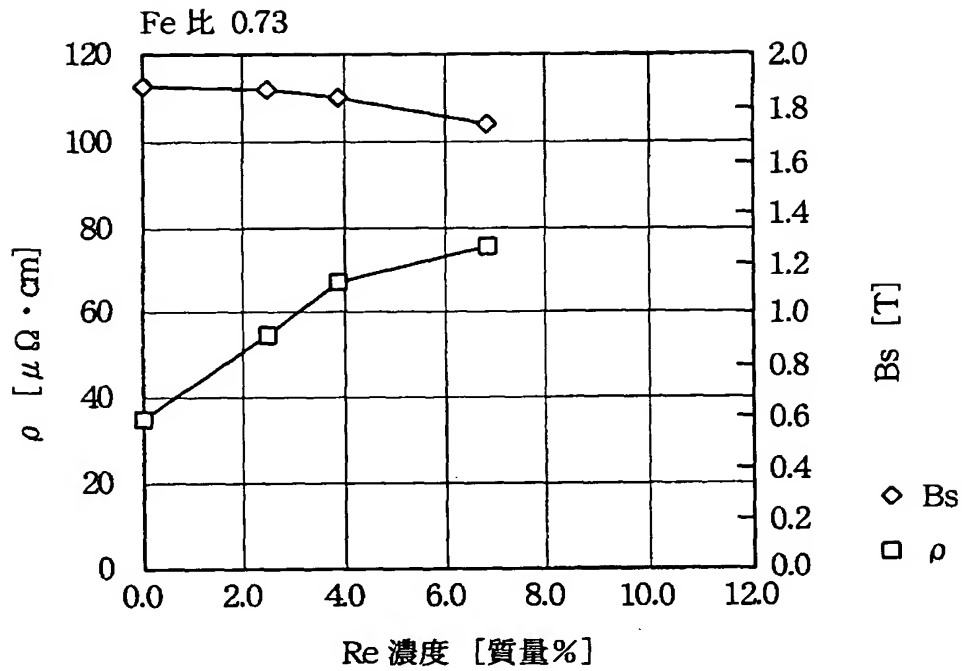


【図 11】

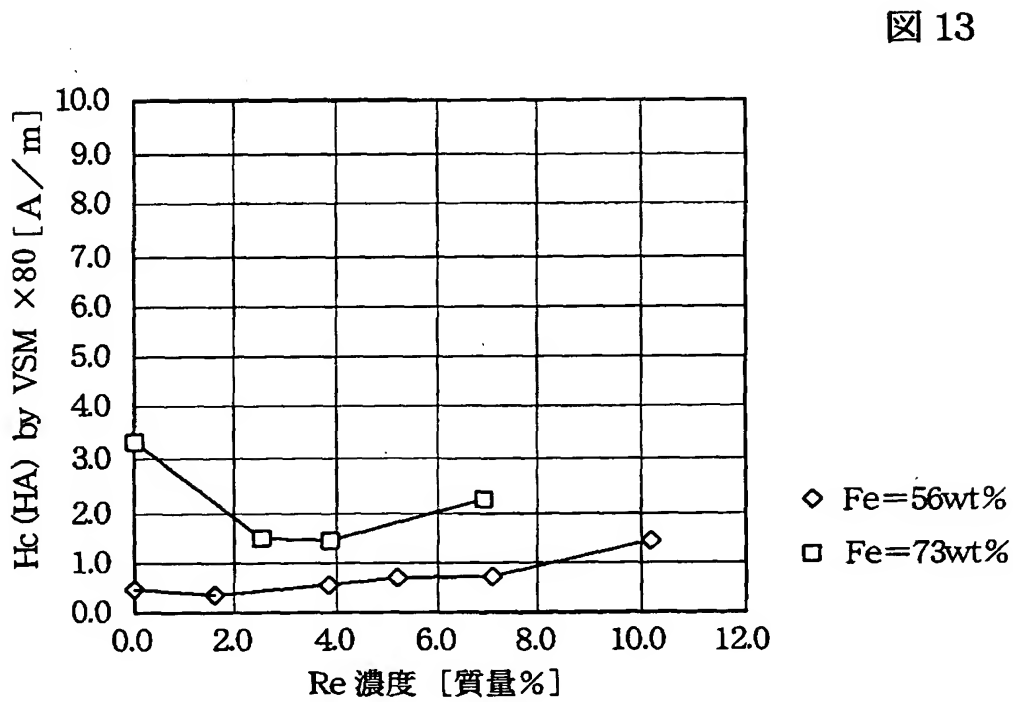
図 11



【図 12】



【図 13】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 高周波信号領域におけるうず電流損失が小さくかつ飽和磁束密度が大きい軟磁性膜及びこの軟磁性膜を用いて高記録密度化に対応できる薄膜磁気ヘッドを提供する。

【解決手段】 組成式が FeNiRe で示される合金からなる軟磁性膜を形成し、この軟磁性膜を用いて下部コア層 16 及び／または上部コア層 22 を形成する。 FeNiRe 合金は、高飽和磁束密度、高比抵抗、高耐蝕性であり、高周波信号領域における損失が小さく、信頼性の高い薄膜磁気ヘッドを提供することができる。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000010098]

1. 変更年月日	1990年 8月27日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都大田区雪谷大塚町1番7号
氏 名	アルプス電気株式会社